Journal of
Plant Environmental Physiology
Print ISSN: 2423-7671
Online ISSN: 2783-4689
Phycological Society of Iran

Evaluation of growth, physiological and biochemichal responses of *Alnus subcordata* endemic seedling to drought stress

Mokarram Ravanbakhsh[1*], Babak Babakhani[2], Mahmood Ghasemnezhad[3]

[1] Environmental Research Institute, Academic Center for Education, Cultural Research (ACECR), Guilan, Rasht, Iran; Department of Biology, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran, Email: ravanbakhsh@acecr.ac.ir,
[2] Department of Biology, Tonekabon Branch, Islamic Azad University, Tonekabon, Iran, Email: babakhani@toniau.ac.ir
[3] Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran, Email: ghasemnezhad@guilan.ac.ir

Article type:
Research article

Article history
Received: 30.10.2022
Revised: 18.01.2023
Accepted: 20.01.2023
Published:22.12.2023

Keywords
Antioxidant enzyme
Hyrcanian
Zpecific leaf area
Water deficit
Wood species

Abstract

This study investigates the effect of drought stress on the morphological, physiological and biochemical parameters of *Alnus subcordata* C. A. Mey., an endemic wood species to Hyrcanian forests. The experimental design was completely randomized on one-year seedlings and four levels of drought stress (25% (severe stress), 50% (moderate stress), 75% (mild stress) and 100% (no stress) of crop capacity. The results showed that drought reduced the growth and biomass of seedlings. The decrease in severe stress treatment compared to the control in seedling height, basal diameter, total biomass, leaf area and specific leaf area were 41.8, 40, 72.4, 91.9 and 49.6% respectively. The root to shoot ratio showed an increase of 53.3%. With the increase of stress, total chlorophyll, chlorophyll a, chlorophyll b decreased by 50% and carotenoid decreased by 38.4%. The relative water content of the seedlings decreased by 33.50 and 24.9% in severe and moderate stress compared to the control treatment. The percentage increase of proline and malondealdehyde in the stress treatment compared to the control treatment was 169.8% and 142.7%, respectively. The activity of superoxide dismutase increased by 25% and 36% and peroxidase by 140% and 148% respectively in the mild and moderate stress treatment. The result showed that Caucasian alder seedling (a rather drought-sensitive species) could coped with drought in mild and moderate treatment by tolerance mechanisms such as reducing growth and biomass, increasing of the root to shoot ratio, reducing photosynthetic pigments and relative increasing in enzyme activities.

Cite this article as: Ravanbakhsh, M., Babakhani, B., Ghasemnezhad, M. (2023). Evaluation of growth, physiological and biochemichal responses of Alnus subcordata endemic seedling to drought stress. *Journal of Plant Environmental Physiology*, 18(4): 65-76.

©The author(s)
Publisher: Islamic Azad University, Gorgan branch

فیزیولوژی محیطی گیاهی
شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۷۶۷۱
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۴۶۸۹
PSI
انجمن جلبک شناسی ایران
Phycological Society of Iran
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد گرگان

ارزیابی رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گونه انحصاری توسکاییلاقی (*Alnus subcordata* C. A. Mey) به تنش خشکی

مکرم روان بخش[1*]، بابک باباخانی[2]، محمود قاسم‌نژاد[3]

[1] گروه پژوهشی محیط‌زیست طبیعی، پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی، رشت، ایران؛ گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم زیستی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران، رایانامه: ravanbakhsh@acecr.ac.ir

[2] گروه زیست‌شناسی، دانشکده علوم زیستی، واحد تنکابن، دانشگاه آزاد اسلامی، تنکابن، ایران، رایانامه: babakhani@toniau.ac.ir

[3] گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان، رشت، ایران، رایانامه: ghasemnezhad@guilan.ac.ir

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۳۰
تاریخ چاپ: ۱۴۰۲/۱۰/۰۱

واژه‌های کلیدی:
سطح ویژه برگ
فعالیت آنتی‌اکسیدانی
کم آبی
گونه چوبی
هیرکانی

چکیده

در این تحقیق اثر تنش خشکی بر پارامترهای ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گونه توسکاییلاقی(*Alnus subcordata* C. A. Mey) از گونه‌های چوبی انحصاری هیرکانی ارزیابی شده است. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی بر روی نهال‌های یکساله و چهار سطح تنش خشکی (۲۵٪ (تنش شدید)، ۵۰٪ (تنش متوسط)، ۷۵٪ (تنش خفیف) و ۱۰۰٪ (بدون تنش) ظرفیت زراعی) در شرایط گلخانه انجام شد. نتایج نشان داد که خشکی میزان رشد و زی‌توده نهال‌ها را کاهش داد. میزان افت در تیمار تنش شدید نسبت به شاهد در مشخصه‌های ارتفاع، قطر یقه، زی‌توده‌کل، سطح برگ و شاخص سطح‌ویژه برگ نهال‌ها به‌ترتیب ۴۱/۸، ۴۰، ۷۲/۴، ۹۱/۹ و ۴۹/۶ درصد بود و نسبت ریشه به اندام هوایی ۵۳/۳ درصد افزایش را نشان داد. با افزایش شدت تنش میزان کلروفیل‌کل، کلروفیلa، کلروفیلb، کاهش تقریبی ۵۰ درصدی و میزان کارتنوئیدها کاهش ۳۸/۴ درصدی را نشان داد. محتوای نسبی آب نهال‌ها، افت ۳۳/۵۰ و ۲۴/۹ درصد در تنش شدید و متوسط نسبت به شاهد داشتند. میزان درصد افزایش پرولین و مالون‌دی‌آلدئید در تیمار تنش نسبت به شاهد به ترتیب ۱۶۹/۸، ۱۴۲/۷ درصد بود. در تیمار تنش خفیف و متوسط میزان افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز به‌ترتیب ۲۵و۳۶ درصد و پراکسیداز ۱۴۰ و ۱۴۸ درصد مشاهده شد. داده‌های این تحقیق نشان می‌دهد که نهال‌های توسکاییلاقی (گونه‌ای تا حدودی حساس به خشکی) توانسته‌اند در سطح تیمار تنش خفیف و متوسط به کمک مکانیسم‌های تحمل به خشکی مانند کاهش رشد و زی‌توده، افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی و افزایش نسبی فعالیت‌های آنزیمی با تنش مقابله کنند.

استناد: روان بخش، مکرم؛ باباخانی، بابک؛ قاسم‌نژاد، محمود. (۱۴۰۲). ارزیابی رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گونه انحصاری توسکاییلاقی (*Alnus subcordata* C. A. Mey) به تنش خشکی ارزیابی رشد و پاسخ‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی توسکا ییلاقی به تنش خشکی. *فیزیولوژی محیطی گیاهی*، ۱۸ (۴)، ۷۶-۶۵.

ناشر: دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

تغییرات جهانی آب‌وهوا ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای، فراوانی، دوره و شدت خشکی را افزایش داده و در نتیجه موقعیت و ساختار جنگل‌ها را تغییر داده است (Guo et al., 2019). نابودی گونه‌های درختی در نتیجه شرایط زیست‌محیطی نامساعد روزافزون می‌تواند منجر به تغییرات ساختار و ترکیب توده‌ها گردد و در بلندمدت اثرات اقتصادی منفی بر تنوع‌زیستی داشته باشد (Kunz et al., 2016). تنش خشکی عامل اصلی کاهش‌دهنده زنده‌مانی نونهال‌ها در مرحله استقرار جنگل‌کاری است (Jahanbazy Goujani et al., 2013).

تنش خشکی درگیاه در نتیجه محدودیت آب قابل دسترس یا افزایش سرعت تعرق بروز می‌کند. گیاهان به منظور مقابله با تنش خشکی تغییراتی در صفات ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و بیوشیمایی ایجاد می‌کنند (Asgharpour et al., 2017). طی تنش خشکی، انتقال مواد از برگ به قسمت‌های پایینی گیاه از جمله ریشه و ساقه موجب افزایش ریشه و کاهش نسبت اندام هوایی به ریشه، افزایش رشد، طول و نفوذ ریشه همچنین کاهش سطح و تعداد برگ در نهایت کاهش فتوسنتز و کاهش زی‌توده اندام‌های هوایی می‌گردد (Du et al., 2010, Silva et al., 2010). تنظیم‌کننده‌های اسمزی از مهم‌ترین مکانیسم‌های حفظ فشار تورژسانس در پاسخ به خشکی به شمار می‌روند. قندهای محلول و پرولین، غشاها را پایدار نموده و در پتانسیل‌های کم آب برگ، ساختار پروتئین‌ها را حفظ می‌کنند (Wu et al., 2013). به‌موازات کاهش محتوی نسبی آب برگ در نتیجه تنش خشکی، نفوذپذیری غشای سلولی افزایش یافته و محتویات داخل سلول نشت می‌کند. در نتیجه آزادسازی یون‌ها به فضای بین‌سلولی و عدم توازن غشا و تولید رادیکال‌های آزاد در نهایت پراکسیداسیون اسیدهای چرب غشای سلولی اتفاق افتاده و مالون‌دی‌آلدئید تولید و تجمع می‌یابد. آنزیم سوپراکسید دیسموتاز اولین خط دفاعی را بر علیه رادیکال‌های فعال اکسیژن در سلول تشکیل می‌دهند و احیای رادیکال سوپراکسید را به پراکسیدهیدروژن و اکسیژن مولکولی کاتالیز می‌کنند. پراکسیدهیدروژن حاصل در مرحله بعدی بوسیله آنزیم‌های آسکوربات پراکسیداز، کاتالاز و پراکسیداز پاکسازی می‌شود (Geng et al., 2019).

در پژوهش‌های معدودی پاسخ گونه‌های چوبی و درختچه‌ای جنگلی شمال کشور به تنش خشکی با سنجش پارامترهای ریخت‌شناسی، فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بررسی شده است. Barshan و همکاران (۲۰۱۶) رویش و زنده‌مانی نهال بید سفید (*Salix alba*) تحت تنش آبی را در تیمارهای دور آبیاری ۲ تا ۱۲ روزه بررسی و دوره ۶–۸ روز آبیاری را برای پرورش نهال، مناسب ارزیابی نمودند. Zarafshar و همکاران (۲۰۱۶) به منظور سنجش میزان مقاومت به خشکی نهال‌های شش ماهه گلابی جنگلی (*Pyrus boisseriana*) برای اعمال تنش خشکی از روش قطع آبیاری تا زمان مشاهدهٔ علائم پژمردگی برگ مدت ۱۸ روز استفاده کرده و تغییر پارامترهای تبادلات گازی، زی‌توده، پتانسیل آبی و محتوی رطوبت نسبی برگ، نشت الکترولیت و محتوی رنگیزه‌های کلروفیلی را ارزیابی نمودند. آستانه پاسخ به تنش خشکی نهال‌های سه‌ماهه افرا شیردار (*Acer cappadocicum*) با بررسی ویژگی‌های رویشی، ریخت‌شناسی برگ و فیزیولوژیک تعیین شد (Asgharpour et al., 2017)Boor و همکاران (۲۰۲۱) افزایش مقاومت نهال‌های توسکاییلاقی (*Alnus subcordata*) به تنش کم‌آبی را در تلقیح با قارچ میکوریزی ریزوفاگوس ایریگولاریس (*Rhizophagus irregularis*) و با استفاده از صفات

ریختی، فیزیولوژیکی و آنزیمی بررسی و نشان دادند که تلقیح با قارچ می‌تواند با بهبود صفات فیزیولوژیکی و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی، بردباری نهال‌های توسکاییلاقی را به کم‌آبی افزایش دهد. Rahimi و همکاران (۲۰۱۷) اثر نانوپرایمینگ با استفاده از نانولوله‌های کربنی چند جداره بر تحمل به تنش خشکی بر بذرهای گونه توسکای ییلاقی را بررسی و نشان دادند که تنش خشکی بر روی شاخص‌های درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، وزن تر ریشه، وزن تر ساقه و نسبت وزن تر ریشه به ساقه موثر بوده و تیمار نانوپرایمینگ موجب بهبود صفات جوانه‌زنی بذر درخت توسکا در شرایط تنش خشکی خواهد شد.

آگاهی از میزان آب مورد نیاز گونه‌های چوبی بنحوی که به ویژگی‌های ریخت‌شناسی و فیزیولوژیک گیاه آسیبی نرسد، بسیار با اهمیت است. از این رو، شناخت گونه‌های بومی و نحوه عملکرد آنها تحت شرایط تنش خشکی نقش بارزی در مدیریت منابع طبیعی داراست (Heidari et al., 2010). با توجه به فراوانی قابل توجه گونه توسکاییلاقی در جنگل‌های هیرکانی، اهمیت اقتصادی آن (احیا جنگل‌های طبیعی و جنگل‌کاری)، همچنین با توجه به اینکه گونه مورد مطالعه از گونه‌های بومی جنگل‌های شمال ایران و انحصاری ناحیه هیرکانی است (Mozaffarian, 2004; Akhani et al., 2010)، در این تحقیق اثر تنش خشکی در شرایط گلدانی و در مرحله نهال بر پارامترهای ریخت‌شناسی، فیزیولوژی و بیوشیمایی نهال‌های یکساله توسکاییلاقی بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

اجرای آزمایش و اعمال تیمارها: این تحقیق به صورت طرح کاملاً تصادفی با ۹ تکرار و چهار سطح تنش خشکی بر روی نهال‌های یکساله توسکا ییلاقی در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد. برای تعیین میزان چهار سطح تنش خشکی (۲۵٪ (تنش شدید)، ۵۰٪ (تنش متوسط)، ۷۵٪ (تنش شدید) و ۱۰۰٪ درصد ظرفیت زراعی(بدون تنش یا شاهد)، ابتدا برخی پارامترهای خاک از جمله بافت، وزن مخصوص و رطوبت در آزمایشگاه خاک تعیین شد. با توجه به ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی و وزن نهال و گلدان و وزن خاک خشک و رطوبت خاک در نقاط یاد شده، وزن مرجع مشخص شد و آبیاری نهال‌ها در هر چهار تیمار پس از توزین گلدان با وزن کردن گلدان‌ها در فواصل زمانی یک روز در میان انجام گردید (Ahani et al., Saxton et al., 1986; 2018).

اندازه‌گیری پارامترهای رشد و ریخت‌شناسی: قطریقه با استفاده از کولیس و ارتفاع نهال‌ها با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری گردید. برای تعیین زی‌توده اندام‌ها، سه نهال از هرتیمار از خاک خارج شده و پس از شست وشوی خاک اطراف ریشه، به سه قسمت ریشه، ساقه و برگ جدا شدند. قبل از قرار دادن در آون، وزن تر آنها اندازه گیری، سپس با قراردادن در آون (دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤٨ ساعت) با ترازوی دیجیتالی توزین و زیتوده‌های ریشه، ساقه و برگ تعیین شد. نسبت ریشه به اندام هوایی (Root: Shoot Ratio (RSR) بر اساس نسبت وزن خشک ریشه به اندام هوایی (مجموع وزن برگ و ساقه) محاسبه شد. برای اندازه گیری سطح برگ از هر تیمار سه پایه انتخاب و از هرپایه سه برگ به صورت تصادفی انتخاب و با استفاده از دستگاه سطح برگ سنج اندازه‌گیری شد. از نسبت بین کل سطح برگ هر گیاه و کل وزن خشک برگ در هر گیاه، سطح ویژه برگ (Speciephic Leaf Area) تعیین گردید (Fang et al., 2012).

محتوای نسبی آب برگ: ابتدا نمونه‌های برگ با آب مقطر شسته شده و با کاغذ صافی خشک شدند. ده

دیسک برگی به قطر یک سانتی‌متر از هر برگ جدا و وزن آنها (وزن تر) یادداشت گردید. نمونه‌ها به مدت ۲٤ساعت در داخل لوله آزمایش حاوی آب مقطر در داخل یخچال در دمای ٤ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته سپس با کاغذ صافی خشک و با ترازوی دیجیتالی با دقت ده هزارم وزن شدند. وزن آماس یادداشت و سپس در داخل آون در دمای ٦٥ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٤٨ ساعت خشک و وزن آنها (وزن خشک) یادداشت شد (Toscano et al., 2016).

اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی: به منظور اندازه‌گیری غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی، ۲۰۰ میلی‌گرم برگ سابیده شده به ۱۰ میلی‌لیتر استن ۸۰ درصد اضافه شد. این مخلوط از کاغذ صافی واتمن شماره ۲ عبور داده شد. سپس جذب نوری محلول صاف شده در طول موج‌های ٦٦٣، ٦٤٥ و ٤٧٠ نانومتر با اسپکترومتر قرائت گردید (Lichtenthaler, 1987).

اندازه‌گیری میزان پرولین: میزان پرولین به روش Bates و همکاران (۱۹۷۳) تعیین گردید. در این روش به نمونه برگ ، سولفوسالیسیلیک اسید اضافه گردید. این مخلوط از کاغذ صافی عبور داده شد. محلول رویی و صاف شده به معرف ناین هیدرین و استیک اسید اضافه گردید و سپس از حمام آب گرم، واکنش در حضور یخ متوقف و تولوئن به مخلوط اضافه گردید. جذب نوری محلول رویی در طول موج ۵۲۰ نانومتر با اسپکتروفتومتر قرائت گردید. غلظت پرولین نمونه‌ها بر حسب میکرومول در گرم وزن تر نمونه محاسبه شد.

میزان مالون‌دی‌آلدئید: میزان پراکسیداسیون لیپیدها از طریق میزان مالون‌دی‌آلدئید ارزیابی شد. ۱۰۰ میلی‌گرم بافت برگ در ۲ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک اسید ۰/۱ درصد مخلوط شد و در ۱۲۰۰۰ گرم به مدت ۱۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و سپس ۰/۵ میلی‌لیتر فاز بالایی با ۱/۵ میلی‌لیتر تری کلرواستیک اسید ۲۰ درصد حاوی ۰/۵ درصد تیوباربیتوریک اسید مخلوط و به‌مدت ۹۰ دقیقه در دمای ۹۰ درجه سانتی‌گراد گرم شد و به سرعت در یک حمام یخ خنک شد. سپس مخلوط در ۱۰۰۰۰ دور به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و جذب مایع رویی در طول موج ۵۳۲ و ٦۰۰ نانومتر ثبت شد. غلظت مالون‌دی‌آلدئید به صورت nmol/g نشان داده شد (Chakhchar et al., 2015).

فعالیت آنزیمی: فعالیت سوپراکسیددیسموتاز از طریق توانایی مهار فتوشیمیایی نیتروبلوتترازولیوم به فومازان توسط رادیکال‌های سوپراکسید ارزیابی شد. مخلوط واکنش حاوی بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار، اتیلن دی آمین ترا استات (EDTA) ۰/۱میلی‌مولار، متیونین۱۳ میلی‌مولا و نیتروبلو- ترازولیوم (NBT) ۷۵ میکرومولار و ریبوفلاوین۲ میکرومولاربود. یک واحد SOD به عنوان مقدار آنزیم مورد نیاز برای ایجاد مهار ۵۰ درصدی کاهش فتوشیمیایی NBT در ٥٦۰ نانومتر در نظر گرفته شد (Giannopolitis and Ries, 1977) و فعالیت پراکسیداز براساس روش گایاکول مورد سنجش قرار گرفت. فعالیت آنزیم با حضور پراکسید هیدروژن۱۰ میلی‌مولار، بافر گایاکول ١٦ میلی‌مولار از طریق پایش افزایش جذب در طول موج ٤٧۰ نانومتر در بافر فسفات به مدت دو دقیقه خوانده شد. نیتروبلو ترازولیوم توسط پراکسید هیدروژن، گایاکول را به تتراگوایاکول در٤٧۰ نانومتر کاتالیز می‌کند (Plewa et al., 1991).

تجزیه و تحلیل‌های آماری: داده‌های به‌دست‌آمده در محیط نرم‌افزار اکسل سازماندهی شد. تجزیه وتحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16.0 انجام گرفت. از تجزیه واریانس یک طرفه (One- way ANOVA) اثر تنش خشکی بر هریک از صفات استفاده شد و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن (در سطح احتمال خطای پنج درصد) انجام شد. پیش از آزمون، نرمال بودن داده‌ها به کمک آزمون

کولموگروف- سمیرنوف و همگنی واریانس بین گروه‌ها با آزمون لون بررسی شد.

نتایج

جدول (۱) تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی در تیمارهای تنش در گونه توسکاییلاقی را نشان می‌دهد. همه صفات مورد بررسی، تغییر معنی‌دار در سطح ۹۵ درصد بین تیمارهای تنش نشان دادند. با توجه به معنی دار بودن آزمون تجزیه واریانس صفات ریخت‌شناسی، تفاوت میانگین تیمارها در جدول ۲ ارایه شده است. میزان افت در تیمار تنش شدید نسبت به شاهد در صفت ارتفاع نهال‌ها ٤١/٨ درصد، قطر یقه٤٠ درصد، زی‌توده کل٧٢/٤ درصد، زی‌توده برگ ٤٤/٦ درصد، زی‌توده ساقه ٧٥/٨ درصد و زی‌توده ریشه٦٤/٤ درصد، سطح برگ ٩١/٩ درصد و در نهایت در شاخص سطح ویژه برگ ٤٩/٦ درصد بود. نسبت ریشه به اندام هوایی نهال‌ها ٥٣/٣ درصد افزایش را نشان داد.

جدول ۱: تجزیه واریانس صفات رشد و ریخت‌شناسی در توسکاییلاقی در تیمارهای تنش خشکی

صفات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
ارتفاع	۳	۲۵۰۸/۲۵	۲۹/۸۹	۰/۰۰۰**
قطر یقه	۳	۷۵/۱۵	۳۲/۵۰	۰/۰۰۰**
زی‌توده ریشه	۳	۵۲۱/۷۷	۳٤/۵۹	۰/۰۰۰**
زی‌توده ساقه	۳	۱۱٦/۷۵	٥٤/٦۲	۰/۰۰۰**
زی‌توده برگ	۳	۱۸۰/۷٤	۸٤/۳۸	۰/۰۰۰**
زی‌توده کل	۳	٤۸۷۳	۱۰۱/۵۳	۰/۰۰۰**
نسبت ریشه به اندام هوایی	۳	۰/۰۸	۷/۷٤	۰/۰۰۹**
سطح برگ	۳	۱۰۱۰۰/۸۸	۵۹/۲۸	۰/۰۰۰**
سطح ویژه برگ	۳	۱٦۰۱۵/۲۵	۹/۸۵	۰/۰۰۱**

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱.

جدول ۲: میانگین صفات رشد و ریخت‌شناسی در تیمارهای تنش خشکی توسکاییلاقی

صفات/ درصد ظرفیت زراعی	تیمار ۱۰۰ درصد	تیمار ۷۵ درصد	تیمار ۵۰ درصد	تیمار ۲۵ درصد
ارتفاع (سانتی‌متر)	۱۳۱/۵± ۷/۲۸^{a}	۹۷±۲/۲۷^{b}	۸۰/۵۵±۲/۹۸ ^{c}	۷٦/۵±۸/۱۸^{c}
قطر یقه (میلی متر)	۱۹/۵۸±۱/۸۵^{a}	۱٤/۷± ۰/۷۵^{b}	۱۲/۳۸±۰/٤۱^{c}	۱۱/۷۷±۰/٤٦^{c}
زی‌توده ساقه (گرم)	۵۸±.٤/۱٦^{a}	۳۰±۳/۰۵^{a}	۱۹±۱/۱۵^{b}	۱٤±۰/۵۷^{b}
زی‌توده ریشه (گرم)	٤٦/٦±۲/۹^{a}	۲۷/۳۳±۱/٦٦^{b}	۲۱/۳±۲/۰۳^{bc}	۱٦/٦۲±۲/۱۸ ^{c}
زی‌توده برگ (گرم)	۲۰/۳±۰/٦٦^{a}	۱٤/۳۳±۱/۲۰ ^{b}	۵/۳۳±۰/۳۳^{c}	۳/۹±۰/۹۲^{c}
زی‌توده کل (گرم)	۱۲۵±٤/۰۰ ^{a}	۷۱/٦۵± ۵/٤۸ ^{b}	٤۵/٦±۲/٤^{c}	۳٤/۵±۳/٤۷^{c}
نسبت ریشه به اندام هوایی	۰/٦۰±۰/۰٦ ^{b}	۰/٦۲±۰/۰۳ ^{b}	۰/۸۸±۰/۰۸ ^{a}	۰/۹۲± ۰/۰۵ ^{a}
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	۱۵۳/٦٦±۱۲/۵^{a}	۷۸/۹٤±۷/۰۷^{b}	۳۷/۳٦±۳/۹۰^{c}	۲۵/۱۳±۲/۳۹^{c}
سطح ویژه برگ (سانتی‌متر مربع/ گرم)	۳۵٦/۲۸±۲۲/۹۹ ^{a}	۲۸۷/۳۵±۵/۳۳^{ab}	۲٦۲/۵۳±۲٦/٤۵ ^{b}	۱۷۹/۳۳±۳۰/۱۷ ^{c}

حروف متفاوت نشانگر اختلاف معنی‌دار بین تیمارها در سطح اطمینان ۹۵٪ است.

جدول (۳) تجزیه واریانس تفاوت صفات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در تیمارهای تنش در گونه توسکاییلاقی را نشان می‌دهد. از بین صفات مورد بررسی آنزیم پراکسیداز تغییر معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد و سایر صفات تفاوت معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد بین تیمارهای تنش را نشان دادند. با توجه به معنی‌دار بودن آزمون، تفاوت میانگین تیمارها در جدول (٤) آمده است. با افزایش شدت تنش، میزان کلروفیل کاهش نشان داد. میزان کاهش کلروفیل‌کل ۵۲/۹ درصد، کلروفیلa،۵۱ درصد و درنهایت کلروفیل b،۵۲ درصد در تیمار تنش شدید نسبت به تیمار شاهد بود، همچنین میزان کارتنوئید کاهش ۳۸/٤ را نشان داد. محتوی نسبی آب نهال‌ها، افت ۳۳/۵ در تنش شدید و ۲٤/۹درصد در تیمار تنش متوسط نسبت به تیمار شاهد را نشان دادند. میزان درصد افزایش پرولین در تیمار تنش شدید۱٦۹/۸ درصدو در تیمار تنش متوسط ۸۰/۷ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. میزان مالون‌دی‌آلدئید با افزایش شدت تنش افزایش نشان داد و میزان آن در تنش شدید و متوسط در مقایسه با تیمار شاهد به مقدار ۱٤۲/۷، ۱۳۳/۸ درصد افزایش نشان داد. افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسیددیسموتاز در تیمارهای تنش خفیف و متوسط و شدید نسبت به شاهد به‌ترتیب ۳٦/۵، ۲۵/۹ و ۲۰/۹ درصد مشاهده شد. بیشترین درصد فعالیت آنزیم پراکسیداز در تیمارهای تنش نسبت به شاهد در تیمار تنش خفیف و متوسط با تغییر ۱٤۸ و ۱٤۰ درصد مشاهده شد.

جدول ۳: تجزیه واریانس صفات فیزیولوژیکی – بیوشیمیایی در تیمارهای تنش خشکی توسکاییلاقی

صفات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	سطح معنی‌داری
کلروفیل a	۳	۰/۲۷۱	۱۳/۷٤	۰/۰۰۲**
کاروفیلb	۳	۰/۰۵	۹/۷۳	۰/۰۰۵**
کلروفیل‌کل	۳	۰/۵٤	۳۱/۸۸	۰/۰۰۰**
کاروتنوئید	۳	۰/۰۰۹	۱۷/۵۰	۰/۰۰۱**
محتوی نسبی آب برگ	۳	۳۹۰/٦۲	۱٤/٦۳	۰/۰۰۱**
پرولین	۳	۱/۸۱	٤۲/۲٦	۰/۰۰۰**
آنزیم پراکسیداز	۳	۲۲۱/۱۷	۱٦/۵۳	۰/۰۱۰ *
آنزیم سوپراکسیددیسموتاز	۳	٦۵۲/۰۷	۱۳/٦۵	۰/۰۰۲**
مالون‌دی‌آلدئید	۳	۳۵/۷۸	۷/٤۹	۰/۰۰۲**

**: اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۱ ،* : اختلاف معنی‌دار در سطح۰/۰۵

جدول٤: میانگین صفات فیزیولوژیک – بیوشیمیایی در تیمارهای تنش خشکی توسکا ییلافی

صفات	تیمار ۱۰۰	تیمار ۷۵ درصد	تیمار ۵۰ درصد	تیمار ۲۵ درصد
کلروفیل a (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)	۱/۰۵±۰/۰۸^{a}	۰/۸۲± ۰/۱۲ ^{a}	۰/٤۱±۰,۰۰^{b}	۰/٤۹±۰/۰٤^{b}
کلروفیلb (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)	۰/٤٤±۰/۳۹^{a}	۰/٤۰±۰/۰٦^{a}	۰/۱۹±۰/۰۱ ^{b}	۰/۲۱±۰/۲٤ ^{b}
کلروفیل کل(میلی‌گرم/ گرم وزن تر)	۱/۵۰ ± ۰/۰٦ ^{a}	۱/۲۳±۰/۱۱^{b}	۰/٦۰±۰/۰۲^{c}	۰/۷۰±۰/۰۷^{c}
کاروتنوئید (میلی‌گرم/ گرم وزن تر)	۰/۲٦± ۰/۰۲^{a}	۰/۲۱±۰/۰۰^{b}	۰/۱۳±۰/۰۰^{c}	۰/۱٦±۰/۰۰ ^{c}
محتوی نسبی آب برگ (درصد)	۷۰/۳۸±۳/۰۰ ^{a}	٦۷/٦۱±۲/۳۷^{a}	۵۲/۸۳± ۳/۰۸ ^{c}	٤٦/۷۷±۳/۰۸^{c}
پرولین (میکرومول/ گرم وزن تر)	۱/۰٦±۰/۱۳^{c}	۱/٤۳±۰/۰۹^{bc}	۱/۷۲±۰/۱۰ ^{b}	۲/۸٦±۰/۱٤ ^{a}
مالون‌دی‌آلدئید (نانومول/ گرم وزن تر)	۵/۲۹±۱/۰۵ ^{b}	۱۰/۲۵±۱/۵۲ ^{a}	۱۲/۳۷±۰/۸٦^{a}	۱۲/۸٤±۱/٤۸^{a}
آنزیم سوپراکسید دیسموتاز (میکرومول/ گرم وزن تر)	۹۵/۹۸±٦/٤۲^{c}	۱۳۱/۰۷ ±۲/۹۵^{a}	۱۲۰/۹۱±۲/٦۳^{bc}	۱۱٦/۰٤±۲/۵۸^{b}
آنزیم پراکسیداز (میکرومول/ گرم وزن تر)	۱۰/۵۲±۰/۹۹^{a}	۲٦/۱۹±۵/٤۰^{a}	۲۵/۳۱ ±۲/۰٦^{a}	۱۱/۲۷±۱/٦۹^{a}

بحث

پاسخ ریخت‌شناسی اولیه به تنش خشکی مکانسیم اجتناب از طریق تنظیم رشد گیاه مانند کاهش اندام هوایی، قطریقه و زی‌توده است (Lei et al., 2006). خشکی موجب کاهش صفات رشد از جمله ارتفاع، قطر یقه و مساحت تاج می‌گردد (Guo et al., 2019). در تحقیق حاضر خشکی میزان رشد نهال‌های توسکاییلاقی را کاهش داد. این کاهش رشد در صفات اندازه گیری شده ارتفاع، قطر یقه، زی‌توده اندام‌ها ، زی‌توده کل و صفات برگ نتیجه گرفته شد. Du و همکاران (۲۰۱۰) از پارامترهای ارتفاع، تاج پوشش و قطر یقه جهت بازتاب اثر تنش خشکی بر رشد نهال‌های *vitex negundo* استفاده کردند و دریافتند که کاهش معنی‌داری با شروع تنش حاصل شده است. آنها اذعان داشتند که این موضوع بدلیل اینکه تامین مواد غذایی با دسترسی به رطوبت خاک مرتبط بوده و در مدت زمان کوتاهی بروز می‌کند، قابل انتظار بود. ممانعت از رشد در نهایت با کاهش زی‌توده بروز می‌کند. در این زمان سیگنال‌های با منشا ریشه (عموماً اسید آبسزیک) از طریق آوند به برگ‌ها منتقل و موجب افت آب و کاهش رشد برگ می‌شود. زی‌توده نهال‌ها در تیمارهای تنش نسبت به تیمار شاهد، کاهش نشان داد.Díaz-López و همکاران (۲۰۱۲) عنوان کردند که در پاسخ به تنش خشکی، نهال‌های *Jatropha curcas* بیشترین وزن خشک ریشه، ساقه و برگ در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی) و به تدریج با کاهش دستیرسی به آب این پارامترها افت کردند. به عقیده Tariqو همکاران (۲۰۱۸) کاهش میزان رشد و زی‌توده در گونه *Alnus cremastogyne* که با کاهش میزان سطح برگ و قطریقه نمود یافته است که ممکن است بخشی از استراتژی اجتناب از خشکی نهال‌های این گونه باشد.

کمبود شدید آب در خاک عموماً موجب تغییراتی در الگوی توزیع ماده خشک (افزایش رشد ریشه نسبت به اندام‌های هوایی) ایجاد می‌کند (Silva et al., 2010). خشکی میزان تولید را کاهش می‌دهد و وقتی منابع محدود باشند، گیاهان معمولاً از طریق دادن سهم بیشتر فتوسنتز برای تولید اندام‌هایی که قادر به کسب منابع هستند، سازگار می‌شوند (Guo et al., 2013). نسبت ریشه به اندام هوایی نهال‌های توسکاییلاقی تحت تیمار تنش متوسط و شدید افزایش نشان داد. افزایش نسبت ریشه به اندام هوایی در *Erythrina velutina* (Silva et al., 2010)، *Acer davidii* (Guo et al., 2019)، *Quercus cerris* (Deligoz and Bayar, 2018) تحت تنش خشکی گزارش شده است.

تغییرات شاخص سطح برگ نشان داد که گونه مورد مطالعه در اثر تنش خشکی سطح برگ‌هایش را کاهش داده است. خشکی به علت ایجاد اخلال در فرایندهای تقسیم و توسعه سلولی در نهایت منجر به افت فشار تورژسانس شده و عامل کاهش نرخ رشد، ارتفاع و سطح برگ خواهد شد. شاخص سطح ویژه برگ رابطه متقابل سطح و وزن خشک برگ و پارامتر مهمی از نرخ رشد است (Guo et al., 2019). بررسی تغییرات میزان شاخص سطح ویژه برگ نشان داد با افزایش شدت تنش خشکی مقدار شاخص افت کرده و در تنش شدید به پایین‌ترین سطح می رسد. کاهش مشخصه‌های سطح برگ و سطح ویژه برگ در گونه *Sophora davidii* استراتژی اجتناب از خشکی برای کاهش تعرق عنوان شد (Wu et al., 2008). کاهش سطح ویژه برگ و اسکلروفیلی شدن بیشتر به عنوان تغییرات سازشی تحت تنش خشکی در برخی مطالعات تلقی شده است، زیرا برگ ضخیم‌تر کارایی

مصرف آب را بهبود بخشیده و جهت اجتناب از هدررفت آب سودمند می‌باشد (Du et al., 2010). هردوگونه *Prunus sargentii* و *Larix kaempferi* طی تنش خشکی کاهش اندازه برگ را نشان دادند، اما گونه لاریکس برگ‌های کوچک‌تر و ضخیم‌تر داشت که نشانگر تحمل به خشکی بیشتر برگ آن نسبت به آلوچه بود (Bhusal et al., 2020).

رطوبت نسبی آب برگ شاخص کلیدی درجه هیدراته شدن سلول و بافت بوده که برای عملکردهای فیزیولوژیک بهینه و فرایندهای رشد حیاتی است (Toscano et al., 2016). محتوی نسبی آب برگ نهال‌ها در اثر تنش کاهش نشان داد. این میزان افت در تنش شدید نسبت به تیمار شاهد، ۳۳/۵۵ و در تیمار تنش متوسط ۲٤/۹ درصد بود. کاهش محتوی نسبی آب برگ در شرایط کم آبی در گونه ارغوان (*Robinia pseudoacacia*) (Norouzi haroni et al., 2015)، افراشیردار (*Acer cappadocicum*) (Asgharpoor et al., 2017)، در دو گونه صنوبر (*Populus kangdingensis* و *Populus cathayana*) (Yang and Miao, 2010) نیز گزارش گردیده است.

برگ‌ها احتمالاً تحت تنش خشکی سبزینگی خود را از به علت جلوگیری از بیوسنتز رنگیزه‌های سبز در گیاهان در حال رشد و تخریب کلروفیل ازدست می‌دهند. کمبود آب منجر به شکستن ساختارهای کلروفیل شده و کاهش احتمالی آن در اثر تنش اکسیداتیو می‌شود (Ghaffari et al., 2019). کاهش مقدار کاروتنوئیدها نشانگر آنست که تنش خشکی موجب تنش اکسیداتیو قابل توجه از طریق تجمع گونه‌های فعال اکسیژن شده است (Lei et al., 2006). در گونه مورد مطالعه با افزایش شدت تنش میزان کلروفیل و میزان کاروتنوئیدها کاهش نشان دادند. میزان کاهش محتوای کلروفیل در سه گونه *Juglans regia*، *J. mandshurica* و *J. nigra* در تیمار تنش خشکی به علت کاهش تبادلات گازی گونه‌ها، همچنین سنتز آهسته یا شکست سریع ناشی از تنش اکسیداتیو و به عنوان شاخص تحمل خشکی گونه ارزیابی شد (Liu et al., 2019). کاهش محتوی کلروفیل تحت خشکی در گونه *Acer buergerianum* (Guo et al., 2013)، کاهش کاروتنوید در گونه‌های *Quercus variabilis* (Wu et al., 2013) و *Populus przewalskii* (Lei et al., 2006) همسو با مطالعه حاضربود.

در مطالعه حاضر افزایش پرولین در تیمار تنش شدید و متوسط قابل توجه بود. افزایش پرولین به موازات افزایش شدت تنش در گونه مورد مطالعه مشابه با نتایج سایر گونه‌ها از جمله *Robinia pseudoacacia* (Li et al., 2008)، *Quercus cerris* و *Quercus robur* (Deligoz and Bayar, 2018) است. این افزایش می‌تواند بیانگر پاسخ سازشی به تنش ایجاده شده باشد، زیرا پرولین به عنوان عامل تنظیم‌کننده اسمزی، پتانسیل آب برگ را کاهش می‌دهد؛ در نتیجه جذب آب و فشار اسمزی حفظ شده و به انجام فرایندهای فیزیولوژیک از جمله فتوسنتز و رشد در شرایط خشکی کمک می‌کند. از طرفی به عنوان جاروب‌کننده رادیکال‌های هیدروکسیل، ساختار پروتئین‌ها و غشاها در برابر تخریب محافظت کرده، در نتیجه دناتوره شدن آنزیم را کم می‌کند. این عملکردها آسیب حاصل از دهیدراته شدن را کاهش می‌دهد (Deligoz and Bayar, 2018; Li et al., 2008).

مالون‌دی‌آلدئید شاخص مهم و معمول ارزیابی سطح احیاست و افزایش آن به وضوح بیانگر آسیب غشا ناشی از پراکسیداسیون اسیدهای چرب غیر اشباع فسفولیپیدها در حضور گونه‌های فعال اکسیزن و میزان کمتر این شاخص به معنی توانایی آنتی اکسیدانی بالاتر و در نتیجه مقاومت به خشکی بیشتر است

(Chakhchar et al., 2015; Wang et al., 2016). در تحقیق حاضر میزان مالون‌دی‌آلدئید با افزایش شدت تنش، افزایش نشان داد. به عقیده Ge و همکاران (۲۰۱٤) افزایش میزان مالون دی‌آلدئید به صورت مکانیسم فیدبکی موجب مهار فعالیت آنزیمی و آسیب احتمالی بیشتر غشاها شده و افزایش آن در گونه *Phoebe bournei* موجب کاهش سطح آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در تیمار تنش به موازات افزایش دوره تنش گردیده است. نتیجه فوق با نتایج این تحقیق به دلیل افت میزان فعالیت آنزیم‌ها در تنش شدید به موازات افزایش میزان مالون‌دی‌آلدئید همخوانی دارد. بررسی درصد افزایش فعالیت آنزیم سوپراکسید دیسموتاز و پراکسیداز نشان داد که بیشترین میزان افزایش فعالیت آنزیم در تیمارهای تنش نسبت به شاهد در تیمار تنش خفیف و متوسط مشاهده شد. Hu و همکاران (۲۰۱۲) در بررسی مقاومت به خشکی دو گونه *Alnus cremastogne* و *Eucalyptus grandis* دریافتند که در گونه اکالیپتوس روند افزایش تدریجی آنزیم‌ها به موازات افزایش دوره تنش مشاهده می‌شود، اما در گونه توسکا، میزان آنزیم سوپراکسید دیسموتاز ابتدا افزایش سپس کاهش و در ادامه روند افزایشی داشت اما آنزیم پراکسیداز ابتدا افزایش سپس روند کاهشی مشاهده شد. نویسندگان براین اساس اذعان داشتند که هر دو گونه برای جلوگیری از آسیب گونه‌های فعال اکسیژن، سیستم آنزیمی درونی خود را فعال کرده، با این وجود گونه اکالیپتوس توانسته این سیستم را تاحدودی حفظ کند در حالیکه گونه توسکا قادر به حفظ آن نبوده است. بررسی دوعامل تنش کم آبی در ترکیب تلقیح با قارچ میکوریز در گونه توسکاییلاقی نشان داد که هر دو عامل موجب افزایش سطح فعالیت آنزیمی شدند و تلقیح در شرایط کم آبی اثر معنی‌دار بیشتری بر افزایش سطح فعالیت آنزیم‌ها نشان داد (Boor et al., 2021).

نتیجه‌گیری نهایی

در این تحقیق اثر تنش خشکی بر برخی از ویژگی‌های ریخت‌شناسی، فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال‌های گونه توسکاییلاقی بررسی شده است. نتایج نشان داد که تنش خشکی موجب کاهش ارتفاع، قطر-یقه، زی‌توده اندام‌ها و زی‌توده کل، سطح برگ، سطح ویژه برگ و محتوی نسبی آب برگ نهال‌ها شد. همچنین میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی تحت تیمار تنش کاهش معنی‌داررا نشان دادند. نسبت ریشه به اندام هوایی، میزان پرولین، مالون‌دی‌آلدئید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی افزایش نشان داد. با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان اذعان نمود که نهال‌های گونه توسکاییلاقی از طریق مکانیسم‌های تحمل خشکی در سطح تنش خفیف و متوسط با تنش خشکی مقابله کرده‌اند.

References

Ahani, H., Jalilvand, H., Vaezi, J. and Sadati, S. E. (2018). Drought stress on *Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson seedlings morphology. Journal of Plant Ecosystem Conservation, 5(2):191 – 204 (In Persian with English summary).

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

Asgharpour E., Azadfar, D. and Saeedi, Z. (2017). Evaluation of *Acer cappadocicum* Gled seedlings to drought stress. Journal of Plant Research, 30(1): 1-11(In Persian with English summary).

Barshan, M., Tabari Kouchaksaraei, M., Sadati, S.E. and Shahhoseini, R. (2016). Growth and Survival of Willow Seedling (*Salix alba* L.) Under Water Deficit Stress. Journal of Forest and wood product, 69(2):249-257(In Persian with English summary).

Bates, L.S., Waldran R.P. and Teare, I.D. (1973). Rapid determination of free proline for water studies. Plant and Soil, 39: 205–208.

Bhusal, N., Lee, M., Han, A.R., Han, A. and .Kim, H.S. (2020). Responses to drought stress in *Prunus sargentii* and *Larix kaempferi* seedlings using morphological and physiological parameters. Forest Ecology and Management, 465:118099.

Boor, Z., Parad, G. A., Hosseini, S. M. and Ghanbary, E. (2021). Morphological, physiological, and enzymatic responses of Caucasian alder (*Alnus subcordata* C. A. Mey) seedlings to water deficit conditions by inoculation of Rhizophagus irregularis. Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research, 16(61):80-93(In Persian with English summary).

Chakhchar, A., Wahbi, S., Lamaoui, M., Ferradous, A., El Mousadik, A., Ibnsouda-Koraichi, S., Filali-Maltouf, A. and El Modafar, C. (2015). Physiological and biochemical traits of drought tolerance in *Argania spinosa*. Journal of plant interactions, 10(1): 252-261.

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

Díaz-López, L., Gimeno, V., Simón, I., Martínez, V., Rodríguez-Ortega, W. M. and García-Sánchez, F. (2012). *Jatropha curcas* seedlings show a water conservation strategy under drought conditions based on decreasing leaf growth and stomatal conductance. Agricultural water management, 105:48-56.

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

Fang, J., Wu, F., Yang, W., Zhang, J. and Cai, H. (2012). Effects of drought on the growth and resource use efficiency of two endemic species in an arid ecotone. Acta Ecologica Sinica, 32(4):195-201.

Ge, Y, He, X, Wang, J, Jiang, B, Ye, R and Lin, X. (2014). Physiological and biochemical responses of *Phoebe bournei* seedlings to water stress and recovery. Acta Physiologiae Plantarum, 36:1241-1250.

Geng, D.L., Lu, L.Y., Yan, M.J., Shen, X.X., Jiang, L.J., Li, H.Y., Wang, L.P., Yan, Y., Xu, J.D., Li, C.Y. and Yu, J.T. (2019). Physiological and transcriptomic analyses of roots from *Malus sieversii* under drought stress. Journal of Integrative Agriculture, 18(6):1280-1294.

Ghaffari, H., Tadayon, M.R., Nadeem, M., Cheema, M. and Razmjoo, J. (2019). Proline-mediated changes in antioxidant enzymatic activities and the physiology of sugar beet under drought stress. Acta physiologiae plantarum, 41: 22-35.

Giannopolitis, C.N. and Ries, S.K. (1977). Superoxide dismutases: II. Purification and quantitative relationship with water-soluble protein in seedlings. Plant physiology. 59, 315-8.

Guo, X., Guo, W., Luo, Y., Ta, N. X, Du, N. and Wang, R. (2013). Morphological and biomass characteristic acclimation of trident maple (*Acer buergerianum* Miq.) in response to light and water stress. Acta Physiologiae Plantarum, 35: 1149-1159.

Guo, X., Luo, Y.J., Xu, Z.W., Li, M.Y. and Guo, W.H. (2019). Response strategies of *Acer davidii* to varying light regimes under different water conditions. Flora, 257:151423.

Heidari, M., Attar Roshan, S. and Abdolahzade S. (2010). Determining the suitable irrigation period of *Acer monspessulanum* sapling in Dareh-Shahr nursery- Ilam. Journal of Renewable Natural Resources Research, 1(2):59-71.

Hosseini Nasr, S.M., Sagheb-Talebi, K. and Hojjati, S. M. (2013). Effect of drought stress induced by altitude, on four wild almond species, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(2):373- 86.

Hu, H, Chen, H, Hu, T. and Zhang, J. (2012). Adaptability comparison between the seedlings of Eucalyptus grandis and *Alnus cremastogyne* under the condition of continuous drought stress. Journal of Agricultural Science, 4: 75-86.

Jahanbazy Goujani H., Hosseini Nasr S. M., Sagheb-Talebi K. and Hojjati S.M. (2013). Effect of drought stress induced by altitude, on four wild almond species, Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 21(2):373-386(In Persian with English summary).

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

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

Li, K.R., Wang, HH, Han G, Wang, Q.J. and Fan J. (2008). Effects of brassinolide on the survival, growth and drought resistance of *Robinia pseudoacacia* seedlings under water-stress. New Forests, 35: 255-266.

Lichtenthaler, HK. (1987). Chlorophylls and Carotenoids: Pigments of Photosynthetic Biomembranes. Methods in Enzymology. 148:350–382.

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

Mozaffarian, V. (2004). Trees and shrubs of Iran. Farhang- e Moaser Publications, Tehran, 1003 pp.

Norouzi haroni N. and Tabari koochksaraee M. (2015). Morpho-Physiological Responses of Black Locust (*Robinia pseudoacacia* L.) Seedlings to Drought Stress, Journal of forest and wood products, 68(3);715-727(In Persian with English summary).

Plewa, M.J., Smith, S.R. and Wagner, E.D. (1991). Diethyldithiocarbamate suppresses the plant activation of aromatic amines into mutagens by inhibiting tobacco cell peroxidase. Mutation research/fundamental and molecular mechanisms of mutagenesis, 247(1):57-64.

Rahimi, D., Kartoolinejad, D., Nourmohammadi, K. and Naghdi, R. (2017). The effect of carbon nanotubes on drought tolerance of Caucasian alder (Alnus subcordata CA Mey) seeds in germination stage. Iranian Journal of Seed Science and Technology, 6(2):17-28.

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

Silva, E.C.D., Silva, M.F., Nogueira, R.J. and Albuquerque, M.B. (2010). Growth evaluation and water relations of *Erythrina velutina* seedlings in response to drought stress. Brazilian Journal of Plant Physiology, 22:225-233.

Tariq, A., Pan, K., Olatunji, O.A., Graciano, C., Li, Z., Sun, F., Zhang, L., Wu, X., Chen, W., Song, D. and Huang, D. (2018). Phosphorous fertilization alleviates drought effects on *Alnus cremastogyne* by regulating its antioxidant and osmotic potential. Scientific Reports, 8:1-11.

Toscano, S., Farieri, E., Ferrante, A. and Romano, D. (2016). Physiological and Biochemical Responses in Two Ornamental Shrubs to Drought Stress. Frontiers in Plant Science,7:645.

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

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

Wu, M., Zhang, W.H., Ma, C. and Zhou, J.Y. (2013). Changes in morphological, physiological and biochemical responses to different levels of drought stress in Chinese cork oak (*Quercus variabilis* Bl.) seedlings. Russian journal of plant physiology, 60:681-692.

Yang, F. and Miao, L. F. (2010). Adaptive responses to progressive drought stress in two poplar species originating from different altitudes. Silva Fennica, 44(1):23-37.

Zarafshar, M., Akbarinia, M., Hosseini, S.M. and Rahaie, M. (2016). Drought resistance of wild pear (*Pyrus Boisseriana* Buhse.). Journal of forest and wood products, 69(1):97-110 (In Persian with English summary).