فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۸، شماره ۱، صفحه ۱۱۱-۹۷، (۱۴۰۱)

DOI: 10.30466/jfrd.2021.53728.1555
DOR: 20.1001.1.24763551.1401.8.1.7.5

مقالهٔ پژوهشی

بررسی زنده‌مانی، رویش و فیزیولوژی شش گونه جنگلکاری‌شده تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

زهرا بور[۱]، سیدمحسن حسینی*[۲]، اعظم سلیمانی[۳]، کامبیز طاهری آبکنار[٤]

۱- دانشجوی دکتری گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی صومعه سرا، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران. (zahra.boor.jangal@gmail.com)
۲- استاد، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی نور، ۱دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران. (hosseini@modares.ac.ir)
۳- دانش‌آموخته دکتری گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی نور، دانشگاه تربیت مدرس، مازندران، ایران. (azamsoleimani.2008@gmail.com)
٤- دانشیار، گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی صومعه سرا، دانشگاه گیلان، گیلان، ایران. (taherikambiz@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰٤/۰٦ تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰۸/۰۳

چکیده

در این پژوهش مشخصه‌های رویشی و فیزیولوژیکی ٦ گونه درختی کاشته‌شده در منطقه صنعتی فولاد مبارکه اصفهان در فواصل آبیاری مختلف (هفت، ١٤، ۲۱ و ۲۸ روز یک‌بار) به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملا تصادفی در سال ۱۳۹۸ مورد پژوهش قرار گرفت. مشخصه‌های زنده‌مانی، رویش ارتفاعی، قطری، تاجی، فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای و کارآیی مصرف آب و همچنین محتوای پرولین و کلروفیل کل مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با طولانی‌ترشدن دوره‌های آبیاری از ۷ روز یک‌بار به ۲۸ روز یک‌بار درصد زنده‌مانی گونه‌ها و صفات ریختی مانند رویش ارتفاعی، قطری، تاجی و سطح برگ گونه‌ها تحت تأثیر تنش کم‌آبی کاهش می‌یابد. فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق، کارآیی مصرف آب و کلروفیل کل برگ در دوره آبیاری ۷ روز یک‌بار بیشترین مقدار و دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار کمترین بودند، درحالی‌که کمترین مقدار پرولین در دوره آبیاری ۷ روز یک‌بار و بیشترین مقدار آن در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار مشاهده شد. از نظر صفات فیزیولوژیکی بین گونه‌ها تفاوتی وجود نداشت. به‌طورکلی برآیند نتایج نشان داد که گونه‌های داغداغان (*Celtis australis*)، زیتون تلخ (*Melia azedarach*) و اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*) عملکرد مناسبی در دوره‌های آبیاری مختلف در برخی مشخصه‌های مورد بررسی از خود نشان دادند. به‌طورکلی اگرچه تیمار ۷ روز یکبار آبیاری نتایج بهتری نشان داد، اما با توجه به اینکه تیمارهای ١٤ و ۲۱ روز یکبار نیز زنده‌مانی بالایی داشتند می‌توانند برای کاهش مصرف آب مورد استفاده قرار گیرند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، تبادلات گازی، تنش کم‌آبی، کلروفیل.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۱۱٤٤۹۹۸۰٦۹

مقدمه

پدیده تغییرات اقلیمی در سالیان اخیر با تأثیر بر الگوهای بارشی موجب توسعه مناطق خشک در جهان شده است. مطابق با داده‌های اقلیمی شبیه‌سازی‌شده در کشور ایران در ۳۰ سال آینده روند افزایشی برای تنش خشکی پیش‌بینی شده است (Khazanedari et al., 2009). جنگلکاری‌ها نقشی مهمی در کاهش سطوح خشکی زمین دارد. به‌علاوه، در سالیان گذشته غلظت گازهای گلخانه‌ای در جو در حال افزایش بوده و در نتیجه برای کاهش اثرهای منفی آن‌ها سطوح جنگلکاری‌ها افزایش یافته است (Vatani et al., 2021).

تنش خشکی اثرهای شدیدی روی رشد و توسعه گیاه از طریق کاهش نرخ رشد و تجمع زی‌توده دارد. مهم‌ترین پیامدهای تنش خشکی روی گیاهان شامل کاهش نرخ تقسیم سلولی، کاهش اندازه برگ، کاهش قد کشیدگی ساقه و تکثیر ریشه، بسته‌شدن روزنه‌ها، اختلال در روابط آبی گیاه و جذب عناصر غذایی هستند (Li et al., 2009). اولین واکنش گیاهان به تنش خشکی در سطح فیزیولوژیکی اتفاق می‌افتد به‌طوری که کمبود آب و خشکی با تأثیر مستقیم بر عملکرد روزنه‌های گیاهان سبب کاهش در مقدار هدایت روزنه‌ای و به‌دنبال آن تغییر در نرخ فتوسنتز، تعرق، پتانسیل آبی، مقدار کلروفیل برگ و دیگر مشخصه‌های فیزیولوژیک می‌شود. کاهش در رویش ارتفاعی، قطری، سطح برگ، زیتوده اندام‌های مختلف گیاه، تعداد و اندازه روزنه‌ها در سطح برگ و همچنین تولیدات گیاهان در مراحل بعدی تحت تأثیر تنش خشکی و به‌دنبال تغییر در تبادلات گازی گیاهان اتفاق می‌افتد (Yu et al., 2020). علاوه‌براین، خشکی با ایجاد تنش اکسیداتیو موجب تخریب مولکول‌های کلروفیل شده که در آخر سبب کاهش نرخ فتوسنتز می‌شود. در شرایط کمبود آب، حفظ پتانسیل آب گیاه برای ادامه رشد ضروری است و این می‌تواند از طریق مکانیسم‌های تنظیم اسمزی ناشی از تجمع محلول‌های سازگار مانند پرولین و قندها در سیتوپلاسم حاصل شود. پرولین علاوه بر ویژگی‌های اسمولیتی و حفظ آب در سیتوپلاسم، دارای یک عملکرد حفاظتی بوده که از آسیب به غشاء در طول تنش‌های زیست‌محیطی جلوگیری کرده و موجب ایجاد ثبات در ساختار و فعالیت‌های پروتئین‌ها و آنزیم‌ها می‌شوند (Hessini et al., 2009). بدون شک کشور وسیع و پهناور ایران که مقدار نزولات جوی در آن (۲۵۰ میلی‌متر) کمتر از یک سوم متوسط جهانی (۸۶۰ میلی‌متر) آن است و دوسوم آن را نواحی خشک و نیمه‌خشک با میانگین بارش سالیانه کمتر از ۱۵۰ میلی‌متر تشکیل می‌دهد. بنابراین اخیرا توسعه جنگلکاری اهمیت ویژه‌ای در کشور پیدا کرده است. در واقع جنگلکاری در این مناطق سبب جلوگیری از فرسایش خاک، آلودگی هوا، تعدیل آب و هوایی و ایجاد مکان‌های تفرجگاهی می‌شود. از طرفی به‌دنبال کاهش بارندگی و کمبود آب، جنگلکاری‌های مناطق مختلف کشور طی چند سال اخیر با مشکلات عدیده‌ای روبرو شده‌اند که این مسئله در درازمدت مشکلات عمده‌ای را به‌دنبال خواهد داشت (Delfan Azari et al., 2019). جنگلکاری در شرایط سخت آب و هوایی نواحی خشک و نیمه‌خشک سبب کاهش پتانسیل استقرار، رشد و تولید اغلب گونه‌های گیاهی می‌شود، بنابراین انتخاب گونه‌های گیاهی سازگار با شرایط خشکی در مباحث جنگلکاری از اهمیت بسیاری برخوردار است.

نیاز آبی برخی از گونه‌های مورد استفاده در جنگلکاری مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند تاغ، گز، آتریپلکس، اسکنبیل، پده، سنجد و گونه اکالیپتوس توسط Raad (2018) بررسی شد. برای اندازه‌گیری

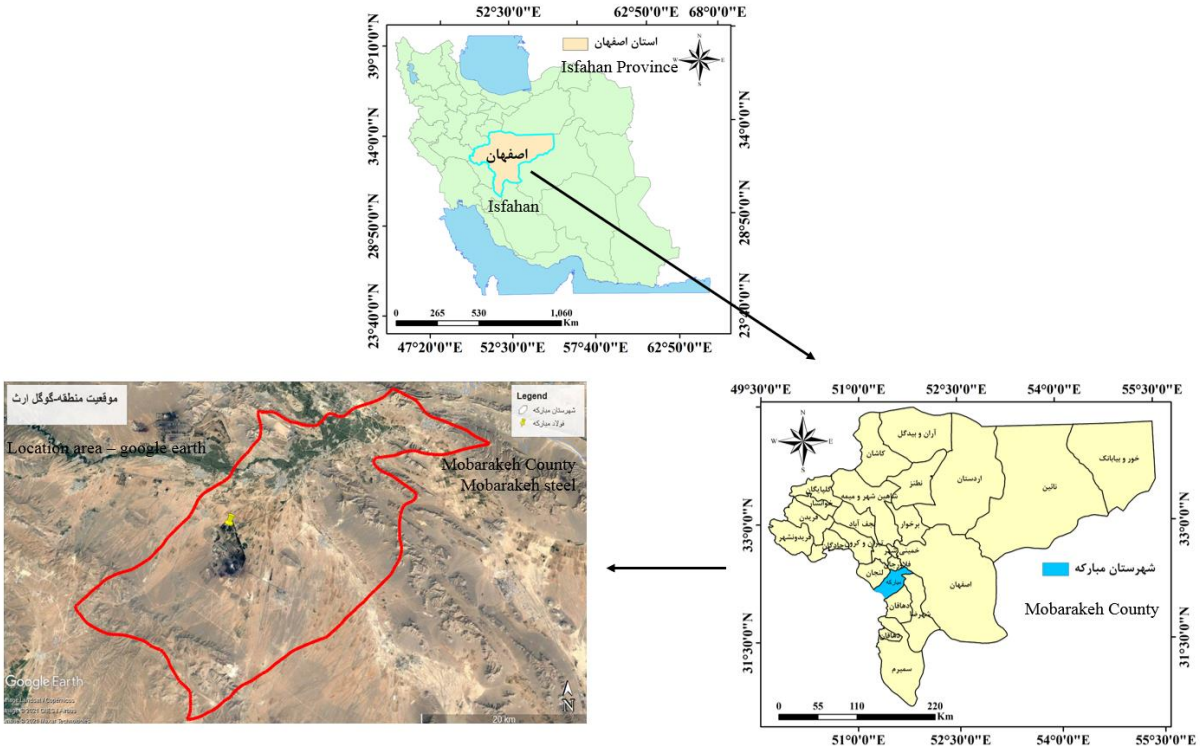
تبخیر و تعرق روزانه و محاسبه ضریب‌های گیاهی این گیاهان از روش‌های مستقیم و یا لایسیمتری و روش های غیرمستقیم و یا محاسباتی استفاده شد. در بین گونه‌های ذکرشده اکالیپتوس با ۱۰ میلی‌متر بیشترین و اسکنبیل با ۲/۲ میلی‌متر کمترین نیاز آبی روزانه را به‌خود اختصاص دادند. پژوهشی با هدف تعیین گونه‌های درختی و درختچه‌ای سازگار با شرایط آب و هوایی شهر آباده توسط Shaban and Ghodousi (2007) انجام شد. نتایج نشان داد که گونه‌های انجیر، زیتون و داغداغان با داشتن رشد کمتر و درصد مرگ و میر بیشتر کمترین سازگاری و گونه‌های پسته، بنه، بادام کوهی، سنجد، نارون، اقاقیا و توت سفید با داشتن رشد بیشتر و درصد مرگ و میر کمتر از گونه های سازگار به منطقه مورد بررسی هستند. در پژوهش دیگر Gindaba et al. (2004) به بررسی مقاومت به خشکی سه گونه پهن‌برگ خزان‌کننده *Cordia africana*، *Croton macrostachyus* و *Millettia ferruginea* و دو گونه اکالیپتوس *Eucalyptus camaldulensis* و *E. globulus* پرداختند. نتایج نشان داد که خشکی سبب کاهش در مقدار نرخ فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق می‌شود. علاوه‌براین مقدار رویش، سطح برگ و زنده‌مانی کلیه گونه‌های مورد بررسی تحت تأثیر تنش خشکی کاهش قابل توجهی داشته به‌طوری که کمترین مقدار زنده‌مانی به گونه اکالیپتوس و بیشترین مقدار آن به گونه *Millettia ferruginea* اختصاص یافت.

نظر به اهمیت موارد اشاره‌شده در ارتباط با کم‌آبی و لزوم صرفه‌جویی و مدیریت در مصرف آب و اهمیت ایجاد، حفظ و توسعه فضای سبز در مناطق خشک که دارای معضل کم‌آبی هستند، نیاز به پژوهش‌های بنیادین با هدف کاهش تلفات خشکی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این‌رو، این پژوهش بر آن است تا ضمن معرفی گونه‌های مقاوم به تنش خشکی و شرایط اقلیمی منطقه فولاد مبارکه اصفهان، مناسب‌ترین تیمار آبیاری برای به‌کارگیری در فضای سبز این منطقه را معرفی کند.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

این پژوهش در فضای چهار هکتاری مشجر شرکت فولاد مبارکه اصفهان که در ۷۵ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در عرصه‌ای به وسعت ۳۵ کیلومتر مربع (با ارتفاع از سطح دریا ۱۹۹۰ متر) استقرار یافته، انجام شد. منطقه مورد بررسی فاقد شیب و تاحدودی مسطح بوده و در عرض ″۲۱ ′۳۴ °۳۲ شمالی و طول ″۳۹ ′۵۱ °۵۱ شرقی قرار گرفته است. نقشه منطقه مورد بررسی در شکل ۱ نشان داده شده است. بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی، دوره بارندگی در این منطقه هفت ماه در سال است که بیشترین مقدار آن به‌طور معمول در اسفند ماه رخ می‌دهد و متوسط سالیانه آن نیز ۱۶۰/۱ میلی‌متر است. متوسط دما و بارندگی سالیانه طی ۱۰ سال اخیر در این مناطق به‌ترتیب ۱۵ درجه سانتی‌گراد و ۴۱ میلی‌متر است. طی این دوره، تیر و مرداد با متوسط درجه حرارت ۲۷ درجه سانتی‌گراد و دی‌ماه با متوسط حرارت ۲/۶ درجه سانتی‌گراد به‌ترتیب گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال بوده‌اند. متوسط تبخیر سالیانه نیز ۱۷۵۰ میلی‌متر محاسبه شد. در مجموع در این منطقه ۹۵ روز یخبندان به ثبت رسیده است که ۲۶ روز آن در دی‌ماه است. بافت خاک منطقه از نوع شنی–لومی بوده که به دلیل وجود سنگ‌ریزه‌های فراوان (۲۵–۷۵ درصد) ویژگی‌های فیزیکی آن نزدیک به بافت‌های سبک خاک است. مشخصه‌های فیزیوکوشیمیایی خاک منطقه در جدول ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت منطقه مورد بررسی

Figure 1. Location map of the study area

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه مورد بررسی

Table 1. Physico-chemical characteristics of soil in the study area

پتاسیم (پی پی ام) K (ppm)	کربن (درصد) C (%)	نیتروژن (درصد) N (%)	شن (درصد) Sand (%)	سیلت (درصد) Silt (%)	رس (درصد) Clay (%)	واکنش خاک pH	هدایت الکتریکی (میکروزیمنس بر سانتی‌متر) EC (µs/cm)
238	0.52	0.035	66.8	14.6	18.6	7.4	465

روش پژوهش

برای انجام این پژوهش از طرح پژوهشی "شناسایی گونه‌های درختی و درختچه‌ای سازگار با شرایط اقلیمی منطقه فولاد مبارکه اصفهان" که با همکاری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد، استفاده شد. در این طرح که از سال ۱۳۹۱ اجرایی شد از شش گونه درختی در مساحتی چهار هکتاری استفاده شد. در اجرای این طرح از چهار دوره آبیاری ۷، ۱٤، ۲۱ و ۲۸ روز یک‌بار به‌عنوان تیمار استفاده شد. هر تیمار دارای پنج تکرار و هر تکرار حاوی هشت نهال است.

در این پژوهش دو عامل نوع گونه (شش سطح) و دوره آبیاری (چهار سطح) در پنج تکرار و هشت زیرنمونه تحت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملا تصادفی درنظر گرفته شد. گونه‌های درختی درنظر گرفته برای این پژوهش شامل: بلوط ایرانی (*Quercus persica*)، بلند مازو (*Q. castaneifolia*)، اقاقیا (*Robinia pseudoacacia*)، داغداغان (*Celtis australis*)، توت (*Morus alba*)، زیتون تلخ (*Melia azedarach*)، بود که سن هر یک حدود هفت سال است. دوره‌های آبیاری به شکل آبیاری قطره‌ای با تنظیم دوره‌های مذکور انجام شد. در پایان و پس از ۷

سال از کاشت نهال‌های دوساله گونه‌ها در عرصه پژوهشی، در شهریورماه ۱۳۹۸مشخصه‌های مختلف ریختی و فیزیولوژیکی اندازه‌گیری شد.

زنده‌مانی و مشخصه‌های ریخت‌شناسی نهال‌ها تحت تنش خشکی

در انتهای دوره، درصد زنده‌مانی نهال‌ها در دوره‌های مختلف آبیاری ثبت شد. همچنین در ابتدا و انتهای دوره مشخصه‌های ریختی مانند قطر، ارتفاع و قطر تاج نهال‌ها برای محاسبه رویش قطری، ارتفاعی و تاجی اندازه‌گیری شدند. قطر یقه با استفاده از کولیس دیجیتالی با دقت یک‌صدم، ارتفاع و میانگین قطر تاج گونه‌های کاشته شده با استفاده از متر نواری تا دقت یک‌سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. مقدار زنده‌مانی نهال‌های کاشته‌شده نیز از طریق تقسیم تعداد نهال‌های زنده در هر تکرار در برداشت انتهایی (۱۳۹۸) به تعداد نهال‌های هر تکرار در ابتدای دوره (۱۳۹۱) محاسبه شد که با ضرب عدد به‌دست‌آمده از این نسبت در ۱۰۰، درصد زنده‌مانی محاسبه شد. همچنین سطح برگ کلیه گونه‌ها با استفاده از دستگاه Leaf Area Meter تا دقت سانتی‌مترمربع اندازه‌گیری شد. برای این کار از برگ‌های بالغ انتهایی درخت و به تعداد سه برگ در هر تکرار استفاده شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژیک و بیوشیمیایی نهال‌ها تحت تنش خشکی

اندازه‌گیری مشخصه‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی نهال‌های تحت تنش خشکی تنها برای شش گونه اقاقیا، بلوط غرب، بلندمازو، داغداغان، توت و زیتون تلخ انجام شد. برای اندازه‌گیری مشخصه‌های فیزیولوژیکی نهال‌های مذکور مانند نرخ فتوسنتز خالص، مقدار تعرق و هدایت روزنه‌ای برگ از دستگاه اندازه‌گیری تبادلات گازی (Model LCpro+, ADC BioScientific Ltd., Hertfordshire, UK) که قابل‌حمل بوده، استفاده شد. برای اندازه‌گیری مشخصه‌های اشاره شده در یک روز آفتابی و در هوای آزاد و تحت شرایط طبیعی دما، نور و رطوبت نسبی هوا (در ساعات بین ۱۱-۹/۳۰ قبل از ظهر) از هر تکرار سه تا پنج برگ از بالغ‌ترین و توسعه یافته‌ترین برگ که در قسمت‌های انتهایی درخت قرار دارد، انتخاب شد (Yu et al., 2020). همچنین کارآیی مصرف آب داخلی گیاه از نسبت مقدار فتوسنتز به هدایت روزنه‌ای محاسبه شد.

برای هر یک از تیمارهای اعمال شده تعداد سه برگ کاملا توسعه‌یافته از گونه‌های مختلف در استون ۸۰ درصد حل و به‌دنبال آن محتوای کلروفیل کل (a+b) طبق روش Arnon (1949) اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری پرولین برگ، در انتهای دوره آزمایش مقدار نیم گرم از نمونه‌های برگ تازه نهال‌ها در ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوسالیسیلیک سه درصد در هاون به‌صورت دستی هموژن و محلول همگن حاصل شده در ۱۵۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۲۰ دقیقه سانتریفیوژ شد. به دو میلی‌لیتر از عصاره سانتریفیوژ شده مقدار دو میلی‌لیتر اسیداستیک و دو میلی‌لیتر اسیدنایین هیدرین اضافه شد. محلول نهایی به‌مدت یک ساعت در حمام بن‌ماری (آب با دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس) قرار داده شد. سپس لوله‌های آزمایش حاوی محلول را در داخل محیطی یخی قرار داده تا پس از خنک شدن چهار میلی‌لیتر تولوئن به هر کدام از لوله‌های آزمایش اضافه شود. در پایان، غلظت پرولین نمونه‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر و در طول‌موج ۵۲۰ نانومتر با درنظر گرفتن منحنی حاصل از غلظت‌های مختلف پرولین، برحسب گرم وزن تر محاسبه شد (Bates et al., 1973).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ٢٤ انجام شد. نرمال بودن داده‌ها به‌وسیله آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس به‌وسیله آزمون لون بررسی شد. تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه (Two-way ANOVA) تجزیه و تحلیل شدند. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون توکی (Tukey) در سطح اطمینان یک درصد استفاده شد. ترسیم نمودارها در محیط Excel انجام شد.

نتایج

زنده‌مانی و مشخصه‌های رویشی

نتایج حاصل از آزمون تجزیه واریانس دوطرفه (GLM) آشکار کرد که مشخصه‌های درصد زنده‌مانی، رویش ارتفاعی، قطری و تاجی گونه‌های بررسی‌شده در این پژوهش به‌طور مجزا در سطح گونه، آبیاری و اثر متقابل گونه×آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار است (جدول ۲).

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه زنده‌مانی و مشخصه‌های رویشی تحت تیمارهای مختلف

Table 1. Results of Two-way ANOVA for survival and growth parameters in different treatment

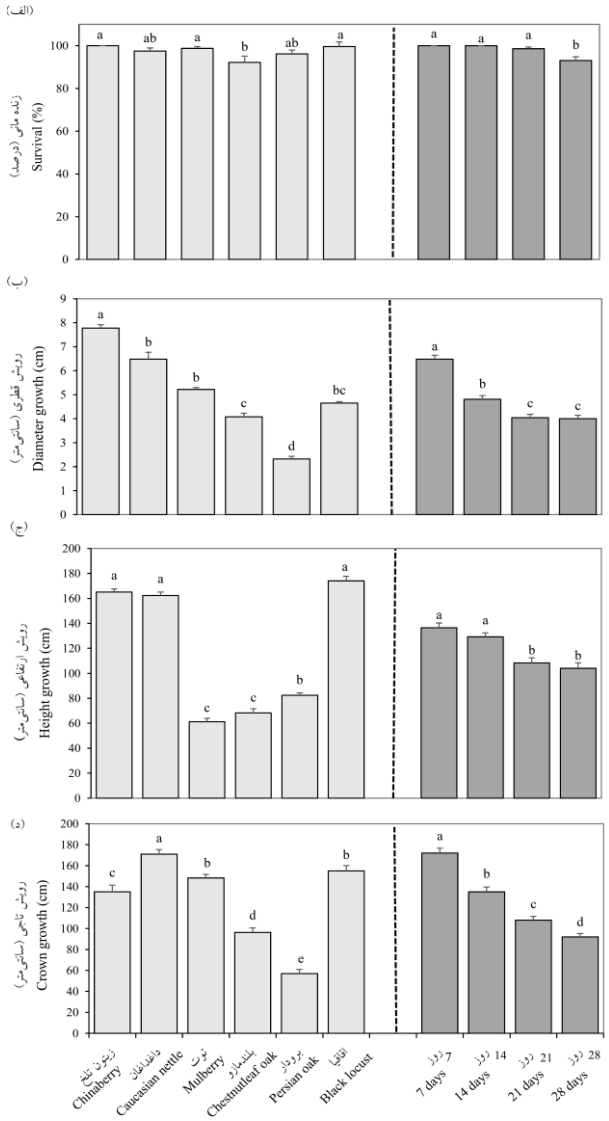
مشخصه‌های رویشی Growth parameters	گونه Species		آبیاری Irrigation		گونه × آبیاری Irrigation × Species	
	F	P	F	P	F	P
زنده‌مانی Survival	9.696	0.000**	28.395	0.000**	6.242	0.000**
رویش ارتفاعی Height growth	610.553	0.000**	187.402	0.000**	16.479	0.000**
رویش قطری Diameter growth	244.321	0.000**	211.781	0.000**	10.654	0.000**
رویش تاجی Crown growth	84.889	0.000**	171.179	0.000**	5.416	0.000**

**: معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد *: معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد و ns: عدم اختلاف معنی‌داری.

* Indicates significant correlation at 0.05 levels, ** indicates significant correlation at 0.01 levels and ns shows no significant correlation.

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی، مقدار زنده‌مانی در گونه بلندمازو (۹۲/۲۲ درصد) کمترین مقدار بود و بین گونه‌های دیگر تفاوتی مشاهده نشد. به‌علاوه، دوره آبیاری ۲۸ روز یکبار نسبت به دیگر دوره‌ها زنده‌مانی کمتری داشت، حال آن‌که تفاوت معنی‌داری بین دوره‌های دیگر مشاهده نشد (شکل ۲ الف). نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌های رویش قطری نشان داد که بیشترین مقدار رویش قطری به گونه زیتون تلخ اختصاص داشت، حال آن‌که کمترین مقدار آن در گونه بلوط ایرانی مشاهده شد. همچنین رویش قطری گونه‌های مورد بررسی با افزایش فواصل آبیاری کاهش یافت، به‌طوری که بیشترین رویش قطری در دوره آبیاری ۷ روز یکبار و کمترین مقدار آن در دوره‌های آبیاری ۲۱ و ۲۸ روز یکبار مشاهده شد (شکل ۲ ب). بیشترین مقدار رویش ارتفاعی به گونه‌های داغداغان (۱٦۲/۳۲ سانتی‌متر)، زیتون تلخ (۱٦٥/۱٤ سانتی‌متر) و اقاقیا (۱۷٤/۰٥ سانتی‌متر) اختصاص داشت، حال آن‌که

کمترین مقدار آن به گونه بلندمازو (۶۸/۲۵ سانتی‌متر) و توت (۶۱/۱۶ سانتی‌متر) اختصاص داشت. مقدار رویش ارتفاعی در دوره‌های آبیاری ۷ رزو و ۱۴ روز یکبار نسبت به دو سطح دیگر به‌طور معنی‌داری بیشتر بود (شکل ۲ ج). به‌علاوه، بیشترین مقدار رویش تاجی به گونه داغداغان و سپس اقاقیا و توت و کمترین مقدار به گونه بلوط ایرانی و سپس بلندمازو اختصاص داشت. در بین دوره‌های مختلف آبیاری نیز بیشترین مقدار آن به دوره آبیاری ۷ روز یکبار و کمترین مقدار آن به دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار اختصاص داشت و بین تمامی سطوح تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (شکل ۲ د).



شکل ۲- مقایسه زنده‌مانی، رویش قطری، رویش ارتفاعی و رویش تاجی بین گونه‌های مختلف و همچنین بین دوره‌های مختلف آبیاری. داده‌ها نشان دهنده مقدار میانگین ± خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشادهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ با استفاده از آزمون توکی است.

Figure 1. Comparison of survival, diameter growth, height growth and crown growth between different species and different irrigation periods. The data represent the mean ± the standard error and letters above the columns represent significance level at 0.05 using Tukey test.

مشخصه‌های فیزیولوژیکی

نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد که اثر گونه به تنهایی و اثر متقابل گونه×آبیاری در هیچ کدام از مشخصه‌های فیزیولوژیکی مورد بررسی معنی‌دار نشد، حال آن‌که اثر دوره‌های مختلف آبیاری در مشخصه‌های فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق در سطح ۹۹ درصد و کارآیی مصرف آب در سطح ۹۵ درصد دارای اختلاف آماری معنی‌داری بود (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه مشخصه‌های فیزیولوژیکی تحت تیمارهای مختلف

Table 2. Results of Two-way ANOVA for physiological parameters in different treatment

گونه × آبیاری Irrigation × Species		آبیاری Irrigation		گونه Species		مشخصه‌های فیزیولوژیکی Physiological parameters
P	F	P	F	P	F	
0.395 ns	1.066	0.000**	143.746	0.263ns	1.314	فتوسنتز Photosynthesis
0.059 ns	1.705	0.000**	205.563	0.128 ns	1.752	هدایت روزنه‌ای Stomatal conductance
0.063 ns	1.682	0.000**	207.654	0.144 ns	1.682	تعرق Transpiration
0.743 ns	0.736	0.045 *	2.542	0.548 ns	0.805	کارآیی مصرف آب Water use efficiency

**: معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد *: معنی‌داری در سطح ۹۵ دصد و ns: عدم اختلاف معنی‌داری.

* Indicates significant correlation at 0.05 levels, ** indicates significant correlation at 0.01 levels and ns shows no significant correlation.

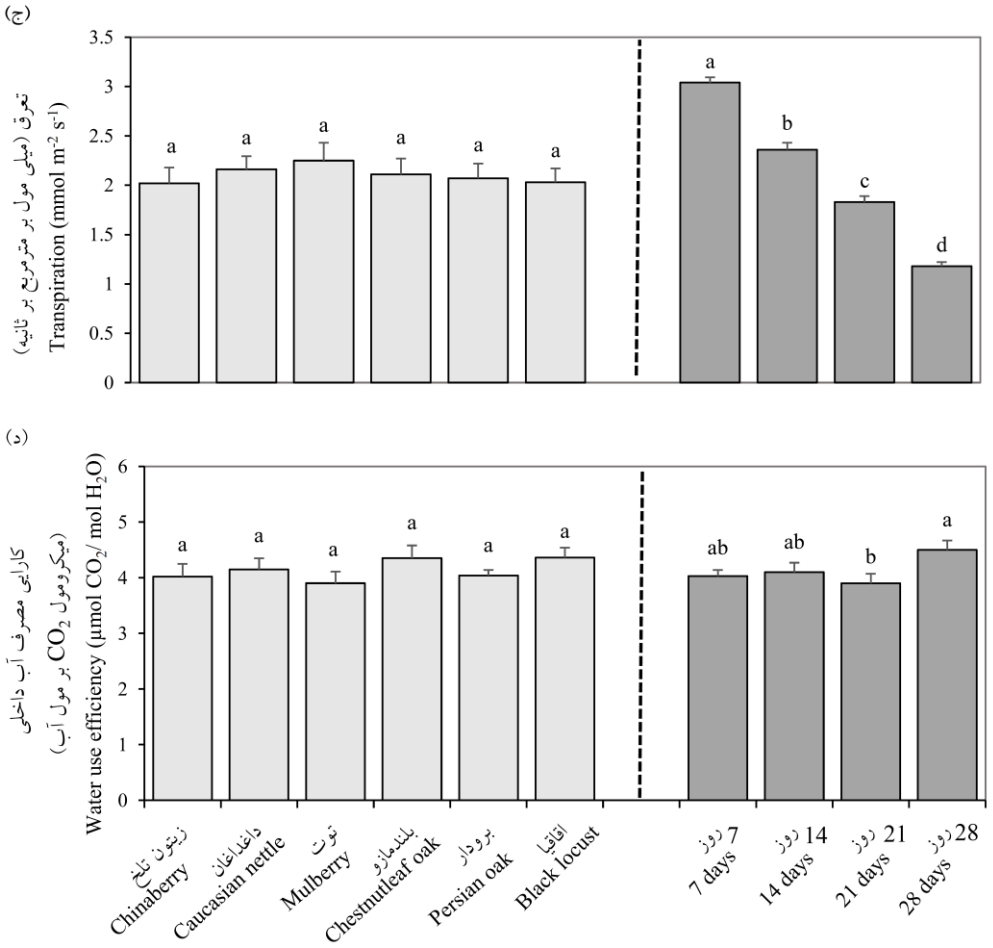
نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین گونه‌های مورد بررسی در کلیه مشخصه‌های فیزیولوژیکی مورد بررسی وجود ندارد، حال آن‌که بین کلیه رژیم‌های آبیاری مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌داری مشاهده شد. بیشترین مقدار فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق در دوره آبیاری ۷ روز یک‌بار و کمترین مقدار آن‌ها در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار به ثبت رسید. همچنین بیشترین مقدار کارآیی مصرف آب در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار و کمترین مقدار آن بین دیگر دوره‌های آبیاری مشاهده شد (شکل ۳).

محتوای کلروفیل و پرولین

نتایج آزمون تجزیه واریانس دوطرفه نشان داد که اثر گونه به‌طور مجزا تنها در مشخصه کلروفیل کل اختلاف معنی‌داری داشته حال آن‌که در سطح آبیاری مقدار پرولین و کلروفیل کل برگ در سطح ۹۹ درصد دارای اختلاف آماری معنی‌دار هستند. همچنین اثر متقابل گونه×آبیاری در هیچ‌کدام از مشخصه‌های بیوشیمیایی مورد بررسی اختلاف معنی‌داری ندارند (جدول ٤).

نتایج حاکی از آن است که تفاوت آماری معنی‌داری در مشخصه پرولین برگ بین گونه‌های مختلف وجود ندارد، حال آن‌که با افزایش شدت استرس ناشی از کم‌آبی، پرولین برگ نیز افزایش یافته به‌طوری که بالاترین مقدار آن در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار و کمترین مقدار آن در دوره آبیاری ۷ روز یک‌بار مشاهده شد. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نشان داد که گونه بلوط ایرانی بالاترین و گونه توت پایین-

ترین مقدار کلروفیل کل برگ را دارند. همچنین مقدار کلروفیل کل برگ تحت تأثیر تنش کم‌آبی به شدت کاهش یافته به‌طوری که کمترین مقدار آن در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار و بیشترین مقدار آن در دوره آبیاری ۷ روز یک‌بار به ثبت رسید (شکل ٤).



شکل ۳- مقایسه فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و کارآیی مصرف آب بین گونه‌های مختلف و همچنین بین دوره‌های مختلف آبیاری. داده‌ها نشان دهنده مقدار میانگین ± خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ با استفاده از آزمون توکی است.

Figure 2. Comparison of photosynthesis, stomatal conductance, transpiration and water use efficiency between different species and different irrigation periods. The data represent the mean ± the standard error and letters above the columns represent significance level at 0.05 using Tukey test.

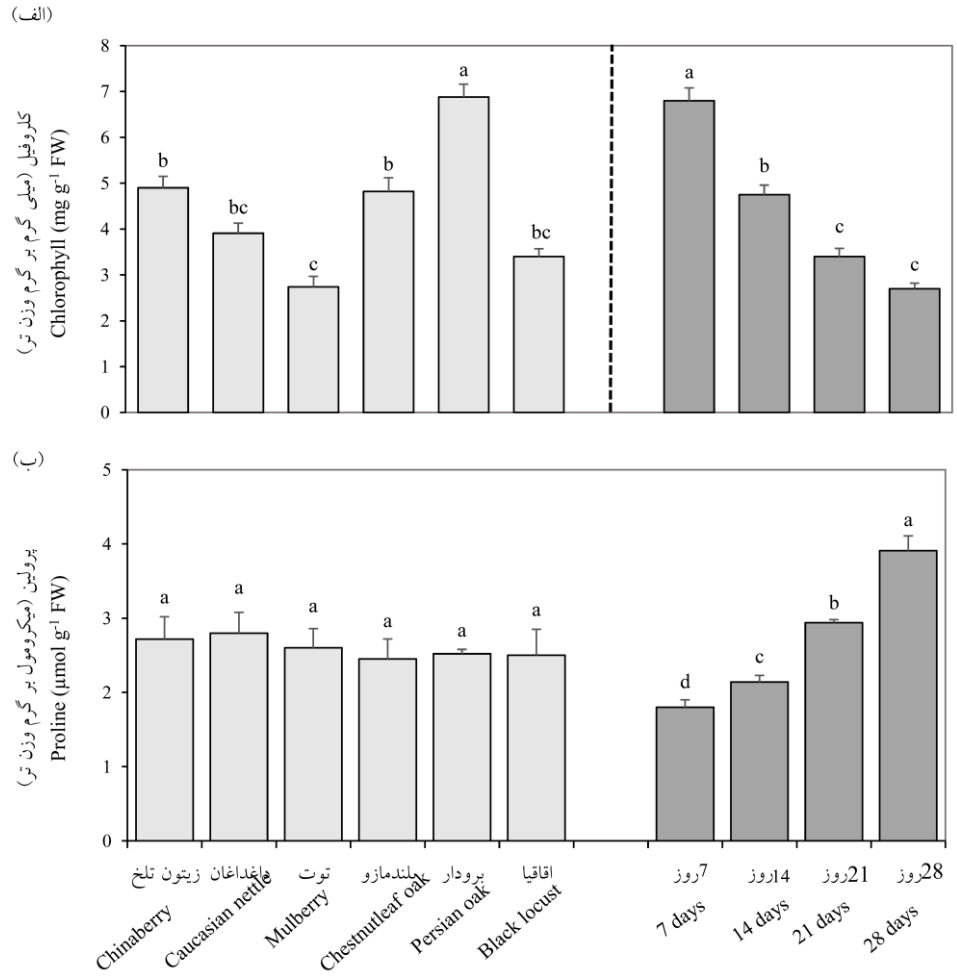
جدول ٤- نتایج تجزیه واریانس دوطرفه کلروفیل کل و پرولین تحت تیمارهای مختلف

Table 3. Results of Two-way ANOVA for total chlorophyll and proline in different treatment

گونه × آبیاری Irrigation × Species		آبیاری Irrigation		گونه Species		مشخصه‌های بیوشیمیایی Biochemical parameters
P	F	P	F	P	F	
0.958 ns	0.439	0.000**	65.384	0.733 ns	0.502	پرولین Proline
0.386 ns	1.095	0.000**	57.544	0.000**	23.448	کلروفیل کل Total chlorophyll

**: معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد *: معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد و ns: عدم اختلاف معنی‌داری.

* Indicates significant correlation at 0.05 levels, ** indicates significant correlation at 0.01 levels and ns shows no significant correlation.



شکل ٤- مقایسه کلروفیل کل و پرولین بین گونه‌های مختلف و همچنین بین دوره‌های مختلف آبیاری. داده‌ها نشان دهنده مقدار میانگین ± خطای معیار و حروف بالای هر ستون نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ با استفاده از آزمون توکی است.

Figure 3. Comparison of total chlorophyll and proline between different species and different irrigation periods. The data represent the mean ± the standard error and letters above the columns represent significance level at 0.05 using Tukey test.

بحث

تأثیر رژیم‌های آبیاری بر زنده‌مانی و مشخصه‌های رویشی گیاهان

در این پژوهش تأثیرپذیری مشخصه‌های رویشی و فیزیولوژیکی نهال‌های ٦ گونه درختی در فواصل مختلف آبیاری در منطقه فولاد مبارکه اصفهان ارزیابی شدند. نتایج نشان داد که محدودیت‌های آبی اثرهای معنی‌داری روی زنده‌مانی و مشخصه‌های رویشی و فیزیولوژیکی گونه‌های مختلف مورد بررسی داشت و به‌علاوه پاسخ گونه‌های مختلف به رژیم‌های مختلف آبیاری متغیر بود.

در پایان آزمایش، درصد زنده‌مانی به‌ترتیب در گونه‌های بلوط ایرانی و بلوط بلندمازو تحت دوره‌های مختلف آبیاری کاهش بیشتری نشان داد اما در گونه‌های دیگر کاهشی مشاهده نشد. دوره آبیاری ۲۸ روز تأثیر منفی بیشتری روی کاهش نرخ زنده‌مانی نهال‌های مختلف داشت و با کوتاه شدن فواصل آبیاری نرخ زنده‌مانی نهال‌ها در گونه‌های مختلف بیشتر بود.

مطابق به نتایج این پژوهش، کاهش زنده‌مانی گونه‌های بلوط مانند بلوط ایرانی تحت تنش خشکی در پژوهش های دیگر گزارش شده است (Ghanbary et al., 2017). آن‌ها در پژوهش خود مشاهده کردند که تنش خشکی نرخ زنده‌مانی نهال‌های بلوط دارمازو و وی‌ول را کاهش داد. مرگ و میر درختان به‌دلیل تنش خشکی یک پدیده جهانی بوده که در گونه‌های مختلف مشاهده شده است و می‌تواند نشان دهنده اثرهای منفی تجمعی خشکی باشد.

مقدار رویش ارتفاعی در دوره‌های آبیاری ۲۱ و ۲۸ روز نسبت به دیگر دوره‌ها دارای مقدار کمتری بود. همچنین کمترین رویش ارتفاعی در گونه‌های توت و بلوط بلند مازو و بلوط ایرانی وجود داشت. با افزایش فواصل آبیاری از ۷ روز تا ۲۸ روز نرخ رویش قطری کاهش یافت. گونه زیتون تلخ دارای بیشترین و گونه بلوط ایرانی دارای کمترین مقدار رویش قطری بودند. نرخ رویش همیشه به‌عنوان یک شاخص مهم از شادابی و واکنش گیاه به تنش‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گرفته است. در شرایط بهینه، گیاهان انرژی خود را به رشد، حفظ سلولی و رشد زایشی اختصاص می‌دهند، درصورتی- که تحت تنش خشکی گیاهان برای زنده‌مانی نیازمند ایجاد تعادل بین تولید انرژی و سیستم دفاعی هستند. در چنین شرایطی، تخصیص انرژی برای تقویت سیستم دفاعی به‌جای رویش و کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی یک استراتژی رایج در گیاهان برای مقابله با تنش خشکی است (Corcobado et al., 2014). در نتیجه می‌توان گفت که خشکی یک اثر متوقف‌کننده روی نرخ رشد گیاهان دارد. اثرهای عوامل خشکی روی کاهش رویش ارتفاعی در پژوهش‌های گذشته گزارش شد، به‌طوری که کاهش رویش ارتفاعی و قطری تحت تأثیر تنش خشکی در ۳ گونه *Quercus. ilex*، *Q. robur*، *Q. petraea* و *Q. pubescens* (Corcobado et al., 2014) مشاهده شد. در این پژوهش، با افزایش فواصل آبیاری سطح برگ نهال‌ها نیز کاهش یافت. یکی از سازگاری‌های مورفولوژیکی گیاهان در زمان مواجهه با تنش خشکی، کاهش سطح برگ است. درختانی که دارای تعداد برگ بیشتری هستند در شرایط خشکی، پتانسیل فتوسنتزی بالاتری را دارند. از طرف دیگر، در این گیاهان با افزایش تعداد برگ‌ها، تعرق نیز بیشتر می‌شود و این موضوع، با کمبود آب در تقابل است. بنابراین بایستی بین کاهش مقدار تعرق و سطح بحرانی برگ برای فتوسنتز تعادل پایداری وجود داشته باشد. در این شرایط، کاهش سطح برگ، یکی از سازوکارها برای ایجاد سازگاری است که گیاهان انجام می‌دهند. هم‌زمان با کاهش سطح برگ گیاه در اثر تنش خشکی، تعرق گیاه هم کم می‌شود و هدررفت آب از طریق روزنه، به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. در واقع تنش خشکی با کاهش تقسیم سلولی و نمو به- دلیل کاهش آماس سلولی سطح برگ کاهش داده که سبب کاهش نرخ تعرق در شرایط تنش می‌شود. مطابق با نتایج این پژوهش کاهش سطح برگ گونه‌های بلوط ایرانی (Ghanbary et al., 2017)، شیشم و ابریشم (Rao et al., 2008) تحت تنش خشکی گزارش شد.

تأثیر رژیم‌های آبیاری بر فعالیت‌های فیزیولوژی گیاهان

فعالیت‌هایی مثل فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و غلظت داخلی دی‌اکسید کربن برگ صفات بسیار مهمی بوده که در گونه‌های پهن‌برگ مورد بررسی در این پژوهش تحت تأثیر محدودیت‌های آبی تغییر کردند. کمبود آب یا خشکی موجب کاهش عملکرد دستگاه فتوسنتزی در همه گونه‌ها شد و با افزایش فواصل آبیاری این اثرهای منفی شدیدتر بود. کاهش نرخ فتوسنتز می‌تواند مرتبط با کاهش هدایت روزنه‌ای، تعرق و تغییرات مزوفیلی مانند تغییرات محتوای دی‌اکسیدکربن بین-

سلولی و محتوای رنگدانه‌ای باشد (Cotrozzi et al., 2016). مطابق با نتایج این پژوهش، در پژوهش‌های گوناگون کاهش نرخ فعالیت‌های فتوسنتزی در گونه‌های درختی مانند *Quercus ilex*، *Q. pubescens*، *Pinus halepensis*، *Eucalyptus torquata* و *E. camaldulensis* تحت تنش خشکی گزارش شد (Souden et al., 2020). هدایت روزنه‌ای و هدایت مزوفیلی نیز در همه گونه‌ها با افزایش فواصل آبیاری کاهش یافت که یک مکانیسم فیزیولوژیکی رایج بوده و از هدررفت آب توسط گیاه و ازدست‌رفتن آب سلول در طول دوره‌های خشکی ممانعت به‌عمل می‌آورد. وضعیت رطوبتی خاک یا ریشه به‌طور مستقیم روزنه را تأثیر قرار می‌دهد که این موضوع در بیشتر گیاهان گزارش شده است. متعاقبا، کاهش هدایت روزنه‌ای اثرهای منفی روی کارآیی سیستم فتوسنتزی دارد، به‌طوری که رابطه بین هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز می‌تواند این نتیجه‌گیری را تأیید کند (Hossain et al., 2019).

در این پژوهش مشاهده شد با افزایش فواصل آبیاری از ۷ روز تا ۲۸ روز کارآیی مصرف آب فتوسنتزی نهال‌ها در گونه‌های مختلف روند افزایشی نشان داد. گونه بلوط و اقاقیا نسبت به دیگر گونه‌ها کارآیی مصرف آب پایین‌تری داشتند. افزایش کارآیی مصرف آب در شرایط تنش کمبود آب ممکن است به‌دلیل اثر بیشتر کمبود آب بر هدایت روزنه‌ای در مقایسه با تثبیت کربن باشد (Pérez-Pérez et al., 2009). حفظ نرخ فتوسنتز در شرایط بسته شدن روزنه ها و تعرق پایین در طول دوره تنش منجر به افزایش کارآیی مصرف آب می‌شود و این افزایش برای بقای درخت و حفظ عملکردش ضروری است. درنتیجه می‌توان گفت گونه‌هایی که کارآیی مصرف آب بالاتری در شرایط تنش خشکی دارند، توانایی آن‌ها در حفظ آب و حمایت از فعالیت‌های فیزیولوژیکی گیاه بیشتر است.

محتوای رنگدانه‌های برگ مانند کلروفیل و کاروتنوئیدها شاخص مهمی از وضعیت گیاه است که می‌تواند برای ارزیابی فعالیت فتوسنتز گیاه مورد استفاده قرار گیرد. تنش غیرزیستی مانند خشکی اغلب منجر به کاهش تعداد کلروپلاست، تجزیه کلروفیل و کلروز و نکروز برگ‌ها می‌شود. در این پژوهش نیز مشاهده شد که با افزایش فواصل آبیاری محتوای کلروفیل گونه‌ها کاهش معنی‌داری نشان داد. در پژوهش‌های قبلی کاهش محتوای کلروفیل تحت تنش خشکی گزارش شد (Ghanbary et al., 2021).

پرولین یک نقش مهم در مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزیستی ایفا می‌کند که به‌دلیل عملکردش به‌عنوان یک اسمولیت بوده و موجب پاک‌سازی گونه‌های فعال اکسیژن می‌شود. افزایش تجمع پرولین تحت شرایط تنش خشکی در بسیاری از گیاهان به‌طور گسترده گزارش شده است که به‌عنوان یک تنظیم‌کننده اسمزی و املاح سازگاری عمل می‌کند و موجب تسهیل جذب آب تحت شرایط تنش‌زا می‌شود و درنتیجه از سلول‌های گیاه در مقابل گونه‌های فعال اکسیژن محافظت می‌کند (Cotrozzi et al., 2016). گونه‌های پهن‌برگ مورد ارزیابی در این پژوهش نیز با افزایش فواصل آبیاری از ۷ روز تا ۲۸ روز محتوای پرولین برگ افزاینده‌ای داشتند. محتوای پرولین برگ گونه‌های زیتون تلخ و توت بالاترین مقدار بود که می‌تواند بیانگر ظرفیت بالای تنظیمات اسمزی این گونه‌ها در شرایط خشکی باشد. به‌نظر می‌رسد افزایش مقدار پرولین بر اثر تنش ممکن است به‌عنوان مسیری برای حفظ انرژی باشد، که از طریق بازدارندگی رشد توسط فعالیت آنزیم پراکسیداز موجود در دیواره‌های سلولی صورت می‌گیرد. پرولین در طول تنش بیشتر

سنتز سلولی را افزایش و تخریب را کاهش می‌دهد (Verbruggen and Hermans, 2008).

به‌طورکلی نتایج نشان داد افزایش دوره آبیاری از ۷ روز یک‌بار به ۲۸ روز یک‌بار سبب تغییر در زنده‌مانی، کاهش ویژگی‌های رویشی مانند رویش ارتفاعی، قطری و تاجی گونه‌های مورد بررسی شد. علاوه‌براین افزایش شدت تنش کم‌آبی سبب کاهش مشخصه‌های فیزیولوژیکی گیاهان مانند فتوسنتز، هدایت روزنه‌ای و تعرق شد، به‌طوری که این کاهش در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار شدیدتر از دیگر دوره‌های آبیاری بود. پرولین و کلروفیل کل برگ به‌عنوان یکی از مشخصه‌های بیوشیمیایی مورد بررسی تحت‌تأثیر گونه اختلاف آماری معنی‌داری نشان ندادند، حال آنکه تحت‌تأثیر دوره‌های آبیاری اختلاف آماری معنی‌داری داشتند. پرولین برگ در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار بالاترین مقدار و در دوره آبیاری ۷ روز یک‌بار کمترین مقدار بود. همچنین کلروفیل کل برگ در دوره آبیاری ۷ روز بیشترین و در دوره آبیاری ۲۸ روز یک‌بار کمترین مقدار را داشت.

به‌طورکلی، با توجه به مقدار بالای زنده‌مانی گونه‌ها طی دوره آزمایش می‌توان گفت که طرح مورد نظر تحت دوره‌های مختلف آبیاری و در گونه‌های کاشته شده موفقیت‌آمیز بوده است. بر اساس مشخصه‌های رویشی نوع گونه‌های درختی مورد استفاده در جنگلکاری‌ها می‌تواند در پاسخ به کمبود آب اهمیت داشته باشد، به‌طوری که گونه‌های داغدان، زیتون تلخ و اقاقیا عملکرد بهتری در دوره‌های آبیاری مختلف از خود نشان دادند. همچنین مشاهده شد که بهترین دوره آبیاری ۷ روز یک‌بار است و با افزایش فواصل آبیاری گیاهان به‌طور منفی تحت تأثیر قرار خواند گرفت. روی هم‌رفته با توجه به اینکه مهم‌ترین هدف در جنگلکاری در مناطق خشک مقدار بالای زنده‌مانی است، می‌توان نتیجه گرفت که دوره‌های آبیاری ١٤ و ٢١ به مانند دوره ۷ روزه نتایج مطلوبی داشته که می‌توانند برای کاهش مصرف آب مورد استفاده قرار گیرند.

تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت کامل شرکت فولاد مبارکه اصفهان به انجام رسید، که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌شود.

References

Arnon, D. I., Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta vulgaris. *Plant physiology* **1949,** *24* (1), 1.

Bates, L. S.; Waldren, R. P.; Teare, I., Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant and soil* **1973,** *39* (1), 205-207.

Corcobado, T.; Cubera, E.; Juárez, E.; Moreno, G.; Solla, A., Drought events determine performance of Quercus ilex seedlings and increase their susceptibility to Phytophthora cinnamomi. *Agricultural and Forest Meteorology* **2014,** *192*, 1-8.

Cotrozzi, L.; Remorini, D.; Pellegrini, E.; Landi, M.; Massai, R.; Nali, C.; Guidi, L.; Lorenzini, G., Variations in physiological and biochemical traits of oak seedlings grown under drought and ozone stress. *Physiologia plantarum* **2016,** *157* (1), 69-84.

Delfan Azari, N.; Rostami Shahraji, T.; Gholami, V.; Hashemi Garmdareh, S. E., The effect of different irrigation levels on growth parameters of ash (Fraxinus rotundifolia Mill) seedlings in green space of Tehran city. *Forest Research and Development* **2019,** *5* (2), 229-244. (In Persian)

Ghanbary, E.; Fathizadeh, O.; Pazhouhan, I.; Zarafshar, M.; Tabari, M.; Jafarnia, S.; Parad, G. A.; Bader, M. K.-F., Drought and pathogen effects on survival, leaf physiology, oxidative damage, and defense in two Middle Eastern oak species. *Forests* **2021,** *12* (2), 247.

Ghanbary, E.; Tabari Kouchaksaraei, M.; Mirabolfathy, M.; Modarres Sanavi, S.; Rahaie, M., Growth and physiological responses of Quercus brantii seedlings inoculated with Biscogniauxia mediterranea and Obolarina persica under drought stress. *Forest Pathology* **2017,** *47* (5), e12353.

Gindaba, J.; Rozanov, A.; Negash, L., Response of seedlings of two Eucalyptus and three deciduous tree species from Ethiopia to severe water stress. *Forest Ecology and Management* **2004,** *201* (1), 119-129.

Hessini, K.; Martínez, J. P.; Gandour, M.; Albouchi, A.; Soltani, A.; Abdelly, C., Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in Spartina alterniflora. *Environmental and Experimental Botany* **2009,** *67* (2), 312-319.

Hossain, M.; Veneklaas, E. J.; Hardy, G. E. S. J.; Poot, P., Tree host–pathogen interactions as influenced by drought timing: linking physiological performance, biochemical defence and disease severity. *Tree Physiology* **2019,** *39* (1), 6-18.

Khazanedari, L.; Zabol Abbasi, F.; Ghandhari, S.; Kouhi, M.; Malbousi, S. In *Drought prediction in Iran during next 30 years*, 9th EMS Annual Meeting, 2009; pp EMS2009-50.

Li, Y.; Ye, W.; Wang, M.; Yan, X., Climate change and drought: a risk assessment of crop-yield impacts. *Climate research* **2009,** *39* (1), 31-46.

Pérez-Pérez, J.; Robles, J.; Tovar, J.; Botía, P., Response to drought and salt stress of lemon 'Fino 49'under field conditions: water relations, osmotic adjustment and gas exchange. *Scientia Horticulturae* **2009,** *122* (1), 83-90.

Raad, M., Water requirement of some forest species used for afforestation in arid and semi-arid regions, *Journal of Iran Nature* **2018**, *3* (4), 40-47. (In Persian)

Rao, P.; Kaur, A.; Tewari, A., Drought resistance in seedlings of five important tree species in Tarai region of Uttarakhand. *Tropical ecology* **2008,** *49* (1), 43.

Shaban, M.; Ghodousi, J., Investigation of the best tree and shrub species adaptable to climatic conditions of Abadeh. *Fifth National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran* **2007**, 1-14. (In Persian)

Souden, S.; Ennajeh, M.; Ouledali, S.; Massoudi, N.; Cochard, H.; Khemira, H., Water relations, photosynthesis, xylem embolism and accumulation of carbohydrates and cyclitols in two Eucalyptus species (E. camaldulensis and E. torquata) subjected to dehydration–rehydration cycle. *Trees* **2020,** *34* (6), 1439-1452.

Vatani, L.; Hosseini, S. M.; Alavi, S. J.; Raeini Sarjaz, M.; Shamsi, S. S., Soil physico-chemical properties 20 years after plantation in the Iranian northern forests (Emphasizing on carbon and nitrogen stocks in plantation with broadleaved and coniferous species). *Forest Research and Development* **2021,** *7* (1), 93-105. (In Persian)

Verbruggen, N.; Hermans, C., Proline accumulation in plants: a review. *Amino acids* **2008,** *35* (4), 753-759.

Investigation of survival, growth and physiology of six afforested species under different irrigation regimes

Z. Boor[1], S. M. Hosseini[*2], A. Soleimani[3], K. Taheri Abkenar[4]

1- Ph.D. student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Gilan University, Gilan, I. R. Iran. (zahra.boor.jangal@gmail.com)
2- Professor, Forestry Department, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Mazandaran, I. R. Iran. (hosseini@modares.ac.ir)
3- Ph.D. of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modarres University, Mazandaran, Iran. (azamsoleimani.2008@gmail.com)
4- Associate professor, Forestry Department, Faculty of Natural Resources, Guilan University, Gilan, Iran. (taherikambiz@yahoo.com)

Received: 27.06.2021 Accepted: 25.10.2021

Abstract

In this research, morphological, physiological and biochemical of 6 tree species in industrial Foolad Mobarakeh of Isfahan region at different irrigation intervals (seven, 14, 21 and 28 days) were studied in a completely randomized design and factorial in 2019. Survival, height, diameter, crown characteristics, photosynthesis, transpiration, stomatal conductance, water use efficiency, proline, and whole leaf chlorophyll were evaluated. The results of comparing the means showed that with the prolongation of irrigation cycles from once every seven days to once every 28 days, the survival rate of species and morphological traits such as height, diameter, and crown of the species decreased. Physiological and biochemical characteristics under the influence of species did not differ statistically significantly, while increasing the irrigation period from seven days to 28 days showed dramatic changes in these characteristics. Photosynthesis, stomatal conductance, transpiration, water use efficiency and total leaf chlorophyll were highest in irrigation cycle once every seven days and minimum once every 28 days, while leaf proline content had the opposite trend so that the lowest amount in the irrigation cycle once every seven days and its maximum amount was observed in the irrigation cycle once in 28 days. There was no difference between species in terms of physiological parameters. Generally, the results showed that the species Caucasian nettle tree, chinaberry and black locust have good performance in irrigation periods. Although it has been determined that the best irrigation treatment is once every 7 days, but 14 and 21 days also have high survival rate and can be used to reduce water consumption.

Keywords: Chlorophyll, Gas exchanges, Water deficit stress, Proline.

[*] Corresponding author Tel: +981144998069