

جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۲، پاییز ۱۳۹۴

ص ۷۱۵-۷۲۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۱۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۴/۳

پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژی نهال‌های اقاچیا

(*Robinia pseudoacacia* L.) به تنش خشکی

❖ ناصر نوروزی هارونی: دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگل‌داری، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

❖ مسعود طبری کوچکسرایلی*: استاد، گروه جنگل‌داری، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

چکیده

هدف این تحقیق بررسی پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژی نهال اقاچیا تحت تنش خشکی (دوره آبیاری در سطوح ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ روزه) بود. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در محیط گلخانه صورت گرفت. نتایج نشان‌دهنده معناداری کلیه صفات بررسی شده تحت تنش (غیر از کارایی مصرف آب) بود. بیشترین مقدار در اغلب صفات اندازه‌گیری شده به تیمار آبیاری ۴ روزه اختصاص داشت. بزرگ‌ترین اندازه طول ریشه متعلق به نهال‌های آبیاری ۱۲ روزه و بزرگ‌ترین اندازه وزن خشک ریشه متعلق به نهال‌های دوره آبیاری ۴ و ۸ روزه بود. بالاترین میزان کارایی آب نهال‌ها به آبیاری ۸ روزه و بیشترین میزان نشت الکترولیت برگ‌ها به آبیاری ۱۶ روزه اختصاص داشت. به‌طورکلی، نهال‌های با دوره آبیاری ۴ روزه بهترین پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژی را به تنش خشکی نشان دادند. البته، از نظر صفات مطالعه شده، به‌ویژه زنده‌مانی و اندازه‌های رویشی، نهال‌ها به تیمار آبیاری ۸ روزه (با اختلاف کمی نسبت به دوره آبیاری ۴ روزه) پاسخ به نسبت خوبی به تنش خشکی نشان دادند؛ طوری که این تیمار می‌تواند به‌منزله دور آبیاری قابل قبول و اقتصادی مد نظر قرار گیرد. پژوهش‌های مشابه می‌تواند در نهالستان‌های جنگلی با اقلیم سازگار این گونه صورت گیرد.

واژگان کلیدی: اقاچیا، تنش خشکی، دوره آبیاری، رشد، فتوسنتز، نشت الکترولیت.

مقدمه

در شرایط خشکی، توانایی رشد و زنده‌مانی گونه‌های مختلف وابستگی زیادی به خصوصیات گونه، سن گیاه، مرحله رویشی، مدت زمان تنش، و عوامل محیطی دارد [۱]. برخی پاسخ‌های سازگاری گیاهان به تنش خشکی را می‌توان تغییر در میزان رویش گیاه، پتانسیل آبی، و هدایت روزنه‌ای دانست [۲]. نخستین واکنش گیاهان در برابر تنش خشکی، کاهش رشد و عملکردهای مورفولوژیکی گیاه است؛ طوری که ارتفاع نهال‌ها و زی‌توده اندام هوایی کاهش [۳] و رشد ریشه افزایش می‌یابد [۴]. در شرایط تنش خشکی، کاهش ماده خشک می‌تواند به دلیل فشار آماس سلولی ناشی از کاهش سطح برگ و کاهش نرخ فتوسنتزی به دلیل محدودیت‌های بیوشیمیایی ناشی از کمبود آب از قبیل کاهش رنگ‌دانه‌های فتوسنتزی، به‌خصوص کلروفیل‌ها، باشد [۵].

گیاهان برای جلوگیری از اتلاف آب و جذب بیشتر آن مکانیزم‌هایی از خود نشان می‌دهند که شامل کاهش رشد، کاهش متابولیسم‌های تنفسی، پتانسیل اسمزی بافت‌های گیاهی و تغییر در مشخصه‌های بیوشیمیایی گیاه تحت استرس است [۴؛ ۶]. در پاسخ به تنش خشکی، گیاهان تغییرات مورفولوژیک، فیزیولوژیک، و بیوشیمیایی خاصی از خود بروز می‌دهند که با بسته شدن روزنه‌های گیاه، کاهش تبادلات گازی و فتوسنتز آغاز می‌شود؛ در این حالت، برای جلوگیری از هدر رفت آب جذب‌شده از سوی ریشه‌ها و کاهش تعرق، گیاه روزنه‌های برگ خود را بسته نگه می‌دارد [۷].

یکی دیگر از واکنش‌های گیاهان برای غلبه بر تنش خشکی کاهش پتانسیل آبی است که به گیاه امکان می‌دهد آب بیشتری از خاک جدا و در برگ‌های خود ذخیره کند [۴]. بالابودن پتانسیل آب قبل از پژمردگی نشان‌دهنده توانایی زیاد گیاه در جذب آب از خاک است؛ همچنین، بالابودن محتوای نسبی آب برگ^۱ به معنای توانایی برگ در حفظ آب بیشتر در شرایط تنش است که رابطه مستقیمی با تنظیم اسمزی و توانایی ریشه در جذب آب دارد [۸]. محتوای نسبی آب برگ شاخصی مناسب برای مقاومت به خشکی است و در شرایط کمتر از ۳۰ درصد، به غشای کلروپلاست آسیب وارد می‌شود [۱]. در گیاهان تحت تنش خشکی، کاهش محتوای نسبی آب برگ سبب افزایش پتانسیل اسمزی، کاهش جذب دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز می‌شود؛ در صورتی که هدایت روزنه‌ای بیشتر از مقدار فتوسنتز باشد، کارایی مصرف آب افزایش می‌یابد که سبب مصرف بهینه دی‌اکسیدکربن می‌شود [۹].

به‌طور کلی، گونه‌هایی که در مقابله با تنش خشکی بیشترین میزان کارایی مصرف آب را از خود نشان می‌دهند، برای استفاده در مناطق گرم و خشک مناسب‌ترند. این در حالی است که در شرایط کمبود رطوبت خاک، گیاهانی می‌توانند از نرخ رشد و استقرار بالاتری برخوردار باشند که بیشترین مقدار آب را از سوی ریشه از خاک جذب و کمترین مقدار آب را مصرف کنند [۱۰].

در مجموع، با توجه به محدودیت منابع آب،

1. Relative Water Content

مرکز بذر آمل (خزر) با مشخصات جدول ۱ تهیه شدند. آن‌گاه جهت شکست خواب پوسته، بذرها بعد از توزین و قرار دادن در آب جوش (به مدت ۲۴ ساعت)، در دمای اتاق نگهداری و خشک شدند تا به وزن اولیه برسند. بذرها آماده‌شده به گلخانه با شرایط دمایی $25 \pm 10^{\circ}\text{C}$ و رطوبت $45 \pm 20\%$ درصد منتقل و در گلدان‌های پلاستیکی با ابعاد 15×25 سانتی‌متر در خاکی یکنواخت با مشخصات اشاره‌شده در جدول ۲ کاشته شدند. گلدان‌ها پس از جوانه‌زنی بذور هر ۲ روز یک‌بار به مدت ۹۰ روز آبیاری شدند؛ تا نهال‌های تولیدشده برای آزمایش تنش خشکی مستعد شوند. قبل از انجام دادن آزمایش تنش خشکی و کاشت نهال‌ها در گلدان‌ها، چند نمونه از خاک مورد استفاده به منظور اندازه‌گیری مشخصات فیزیکی-شیمیایی، تعیین ظرفیت زراعی (FC)، و نقطه پژمردگی (PWP) به آزمایشگاه منتقل شدند (جدول ۲) و در نتیجه با استفاده از درصد رطوبت خاک (وزن خاک خشک)، وزن نهال و وزن گلدان، وزن مرجع در ظرفیت زراعی مشخص شد [۱۵]. آن‌گاه ۶۰ پایه از بهترین و همسان‌ترین نهال‌ها با میانگین قطر ۲ میلی‌متر و میانگین ارتفاع ۱۱/۵ سانتی‌متر انتخاب شدند و تحت آزمایش تنش خشکی در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار دوره آبیاری (۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ روز) و ۳ تکرار (در هر تکرار ۵ گلدان) قرار گرفتند. براساس تیمار دوره آبیاری، گلدان‌ها تا رسیدن رطوبت خاک به ظرفیت زراعی آبیاری شدند. مدت انجام دادن این آزمایش ۷۰ روز به طول انجامید. شایان ذکر است که علت توقف آزمایش، تلفات زیاد در نهال‌های سطوح تنش خشکی شدیدتر (۱۲ و ۱۶ روز آبیاری) بود.

تحقیق روی واکنش گیاهان به کمبود آب و مشخص شدن نوع عملکرد آن‌ها در مقابله با تنش خشکی می‌تواند به بهبود مدیریت در تولید نهال در نهالستان‌ها و عرصه‌های جنگل‌کاری کمک کند. همچنین، اراضی وسیع مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور (با وسعت ۱/۵ میلیون کیلومتر مربع) سبب تشویق شناسایی گونه‌های بومی و غیربومی مقاوم به خشکی و کاشت آن‌ها در این مناطق می‌شود.

درخت اقاچیا (*Robinia pseudoacacia* L.) گونه بومی آمریکای شمالی (کوه‌های آپالاش) و تثبیت‌کننده ازت جو در خاک است [۱۱]؛ طوری که در سال مقدار ۲۵/۸ گرم نیتروژن در هکتار به خاک محل کاشت اضافه می‌کند. این درخت، مناسب کاشت در اطراف رودخانه‌ها، ساحل دریاها [۱۲]، اطراف معادن [۱۳]، مناطق با خطر آتش‌سوزی [۱۴]، پارک‌ها و فضای سبز شهری است و به‌طور کلی انتشار آن در نواحی معتدله و نیمه‌گرمسیری آمریکا، اروپا، نیوزلند، هند، چین، و کره گزارش شده است [۱۴]. هدف این تحقیق بررسی پاسخ‌های مورفو-فیزیولوژی نهال این گونه به سطوح مختلف تنش خشکی و انتخاب دوره آبیاری مناسب (بر مبنای ظرفیت زراعی خاک) برای پرورش نهال اقاچیاست.

روش تحقیق

این تحقیق در گلخانه سرپوشیده دانشکده منابع طبیعی نور (دانشگاه تربیت مدرس) با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۶ دقیقه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۴۷ دقیقه شمالی، در ارتفاع ۱۸ متر پایین‌تر از سطح دریا آزاد انجام شد. بذرها استفاده‌شده اقاچیا (*Robinia pseudoacacia* L.) در این آزمایش از

جدول ۱. خصوصیات منطقه جمع‌آوری بذر و پارامترهای اندازه‌گیری شده بذر افاقیا (مرکز بذر خزر آمل)

مبدأ بذر	موقعیت جغرافیایی منطقه جمع‌آوری بذر	ارتفاع از سطح دریا (متر)	نوع آب‌وهوا	نوع نامیه	رطوبت (%)	تعداد در کیلوگرم	وزن هزار دانه (گرم)	درصد خلوص
زنجان	طول جغرافیایی "۴۳°۵۲' تا ۴۳°۷'۵۲" شرقی عرض جغرافیایی "۳۶°۱۲'۲۹" تا ۳۶°۱۳'۱۸" شمالی	۱۶۶۳	خشک سرد	۸۵	۸/۵	۵۶۳۲۰	۱۷/۳	۹۲

جدول ۲. مشخصات خاک گلدان‌های نهال‌های بازکاشت شده افاقیا

نقطه	ظرفیت	وزن ظاهری	کلاسه	sand (%)	silt (%)	clay (%)	C (%)	K (ppm)	P (ppm)	N (%)	EC (Ms/cm)	pH
پژمردگی <td>زراعی <td>خاک <td>بافت <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(ppm)</td> <td>(ppm)</td> <td>(%)</td> <td>(Ms/cm)</td> <td></td> </td></td></td>	زراعی <td>خاک <td>بافت <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(ppm)</td> <td>(ppm)</td> <td>(%)</td> <td>(Ms/cm)</td> <td></td> </td></td>	خاک <td>بافت <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(ppm)</td> <td>(ppm)</td> <td>(%)</td> <td>(Ms/cm)</td> <td></td> </td>	بافت <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(%)</td> <td>(ppm)</td> <td>(ppm)</td> <td>(%)</td> <td>(Ms/cm)</td> <td></td>	(%)	(%)	(%)	(%)	(ppm)	(ppm)	(%)	(Ms/cm)	
(%)	(%)	(g/cm ³)										
۹	۱۵/۳	۱/۵۱	شنی-لومی	۶۶	۱۲	۲۲	۰/۴۵	۳۰	۱۳	۰/۱۳	۰/۳۶	۶/۱

بررسی زنده‌مانی در هریک از دوره‌های آبیاری، تعداد نهال‌های باقی‌مانده در پایان بررسی نسبت به نهال‌های اولیه در هر تیمار، به صورت درصد زنده‌مانی منظور و تجزیه و تحلیل شد.

اندازه‌گیری صفات فیزیولوژی نهال

در انتهای دوره تنش، متغیرهای فیزیولوژیکی شامل فتوسنتز، تعرق، هدایت روزنه‌ای، و پتانسیل آبی ساقه اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فتوسنتز، تعرق، و هدایت روزنه‌ای از دستگاه قابل حمل اندازه‌گیری فتوسنتز (ADC, LCpro+, UK) استفاده شد. برای این کار، برگ‌های بالغ قسمت پایینی نهال‌ها در یک

اندازه‌گیری صفات مورفولوژی نهال

پس از پایان تنش، از هر تکرار ۳ نهال انتخاب شد. ارتفاع و طول ریشه نهال با خط‌کش (دقت سانتی‌متر)، قطر یقه با کولیس دیجیتالی (دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) و سطح برگ با دستگاه Leaf Area Meter اندازه‌گیری شد و سطح ویژه برگ با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$SLA = \text{وزن خشک برگ} \quad (۱)$$

(گرم) / سطح برگ (سانتی متر مربع)

برای اندازه‌گیری وزن خشک اندام‌های زمینی و هوایی نهال‌ها، نمونه‌ها قبل از توزین، به مدت ۴۸ ساعت در آون ۷۰ درجه قرار گرفتند. به منظور

اندازه‌گیری شد؛ سپس به مدت ۱۲ ساعت به حمام بن‌ماری (دمای °C ۸۰) انتقال یافت و هدایت الکتریکی کل (EC₂) آن‌ها اندازه‌گیری شد. در نهایت، درصد نشت الکترولیت از رابطه ۳ محاسبه شد.

$$EL = EC_1 / EC_2 \times 100 \quad (3)$$

تجزیه و تحلیل آماری

این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی انجام شد. برای بررسی نرمال‌بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و برای همگنی واریانس از آزمون لون استفاده شد. پارامترهای مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی در پایان دوره به وسیله آزمون One-way ANOVA ارزیابی شد. برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد. کلیه آزمون‌های مربوطه با نرم‌افزار SPSS 16.0 (SPSS Inc., Chicago, IL) انجام شد.

نتایج و بحث

در تحقیق حاضر، نتایج آنالیز واریانس آشکار کرد که افزایش تنش خشکی به‌طور معناداری سبب کاهش میزان زنده‌مانی نهال‌های تحت تنش خشکی شد (جدول ۳). با استفاده از آزمون دانکن معلوم شد که در پایان ۷۰ روز، نهال‌های با آبیاری ۱۶ روز دارای کمترین زنده‌مانی (حدود ۲۰ درصد) بودند؛ درحالی‌که در دور آبیاری ۴ روز زنده‌مانی برابر با ۱۰۰ درصد بوده است (شکل ۱). به‌طورکلی، کاهش زنده‌مانی نهال‌های تحت تنش خشکی را می‌توان با

روز آفتابی (از ساعت ۹:۳۰-۱۱ با رطوبت نسبی ۶۰-۸۰ درصد و دمای سطح برگ °C ۲۵-۳۰) انتخاب شدند [۱۶]. شاخه‌های بالغ قسمت میانی نهال برای اندازه‌گیری پتانسیل آبی (با دستگاه Pressure Chamber مدل Skye, SKPM 1400 UK) انتخاب شد. کارایی مصرف آب ($WUE = \frac{A}{E}$) از نسبت فتوسنتز خالص (A) به تعرق (E) تعیین شد. برای اندازه‌گیری مقدار نسبی آب برگ (RWC)، برگ‌های انتهایی گیاه، که شامل برگ‌های جوان‌تر بود، به وزن ۱۰۰ میلی‌گرم برش داده شد و بلافاصله توزین و در لوله‌های آزمایش دردار حاوی آب مقطر وارد و پس از ۶ ساعت وزن آماس برگ‌ها تعیین شد. سپس برگ‌ها به آون (دمای °C ۷۰) منتقل و وزن خشک آن‌ها بعد از ۴۸ ساعت اندازه‌گیری شد. مقدار رطوبت نسبی برگ‌ها با استفاده از رابطه ۲ به‌دست آمد.

$$RWC = \frac{WF - WD}{WT - WD} \times 100 \quad (2)$$

WF: برگ‌های انتهایی نهال به وزن ۱۰۰ میلی‌گرم، WT: وزن آماس برگ‌ها، WD: وزن خشک برگ‌ها بعد از ۴۸ ساعت

برای محاسبه میزان نشت الکترولیت، ۳ قطعه یک سانتی‌متری از برگ (قسمت میانی برگ‌های تازه بالغ‌شده) داخل و یال‌هایی دارای ۵۰ میلی‌متر آب دیونیزه قرار داده شد. آن‌گاه نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در دمای آزمایشگاه قرار گرفت و هدایت الکتریکی اولیه (EC₁) آن‌ها توسط EC متر دیجیتالی

سطح ویژه برگ نیز به نهال‌های با آبیاری ۱۶ روز تعلق داشت که دلیل آن می‌تواند سازگاری گیاه برای کاهش تعرق و همچنین کاهش جذب دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز باشد [۲۳]. نتایج مشابه همچنین روی نهال *Procera albizia* مشاهده شد؛ طوری که افزایش تنش خشکی (در مدت سه ماه) سبب کاهش سطح ویژه برگ در نهال‌ها شد [۲۴].

نتایج آنالیز واریانس نشان‌دهنده معناداری کلیه پارامترهای زی‌توده اندام‌های مختلف نهال‌ها (به جز زی‌توده خشک ساقه) در سطح ۱ درصد است (جدول ۳). با انجام دادن آزمون دانکن معلوم شد که افزایش خشکی سبب کاهش وزن خشک برگ، زی‌توده خشک ساقه، ریشه، و کل نهال شد (جدول ۴). به‌طورکلی، کاهش زی‌توده برگ در نهال‌های تحت تنش شدید می‌تواند به دلیل تجمع زیاد اتیلن در برگ، پیری زودرس، و ریزش آن باشد [۶]. آنالیزها همچنین نشان داد که تنش خشکی اثرهای منفی بر پارامترهای رویشی همانند وزن ریشه، وزن برگ، و وزن تر کل نهال داشت که با نتایج سایر محققان روی گونه‌های درختی مختلف مطابقت دارد [۲۵].

یکی از آثار مهم کمبود آب، محدود شدن رشد اندام‌های هوایی گیاه است که سبب کاهش تولید ماده خشک کل گیاه می‌شود. در تحقیق ما، آشکار شد که افزایش تنش خشکی سبب کاهش معنادار وزن خشک ساقه و وزن نهال شد که دلیل آن می‌تواند ارتباط بیوماس خشک ساقه و کل نهال با فتوسنتز خالص و پتانسیل آبی باشد [۲۶]. کاهش وزن ریشه در دوره‌های آبیاری ۱۲ و ۱۶ روز را می‌توان اثر

کاهش جذب عناصر اولیه رشد، که سبب ضعف استقرار نهال‌ها شده، مرتبط دانست [۱۷]. همچنین، می‌توان اظهار داشت که توانایی یک گیاه به زنده ماندن در شرایط خشکی و تحمل کاهش میزان آب دریافتی رابطه مستقیم با تنظیم اسمزی دارد [۱۸].

نتایج آنالیز واریانس مشخص کرد که افزایش دوره آبیاری به‌طور معناداری سبب کاهش رویش قطر یقه و ارتفاع نهال‌ها شد (جدول ۳). نتایج آزمون دانکن نیز آشکار کرد که کمترین میزان رشد به نهال‌های با آبیاری ۱۲ و ۱۶ روزه و بیشترین قطر یقه به نهال‌های با آبیاری ۴ روزه تعلق داشت (جدول ۴). این نتایج با یافته‌های فوتیلی و همکاران [۱۹] روی چهار گونه بلوط مدیترانه (*Q. macrolepis*, *Q. ilex*, *Q. pubescens*, *Q. frainetto*)، و نیز گزارش‌های عصری و همکاران [۲۰] و میرزایی و همکاران [۳] روی بلند مازو (*Q. castaneifolia*) مطابقت دارد. کاهش ارتفاع نهال‌ها در شرایط تنش خشکی را می‌توان به سازگاری انرژی گیاه در جهت افزایش حجم و طول ریشه برای افزایش مقاومت گیاه به تنش خشکی نسبت داد [۲۱]. از طرف دیگر، تنش خشکی به‌منزله عامل مهارکننده جذب مواد مغذی سبب کاهش رشد قطری در گیاهان می‌شود [۲۲].

در تحقیق ما، طول ریشه با افزایش دوره آبیاری تا دوره ۱۲ روز افزایش و در دوره ۱۶ روز کاهش یافت. این بدین سبب است که گیاهان در مقابله با تنش خشکی سیستم ریشه خود را جهت جذب بیشتر آب و عناصر غذایی گسترش می‌دهند [۲۳]. کمترین

و کمترین آن در نهال‌های تحت آبیاری ۱۶ روزه مشاهده شد. نتایج مشابه در مطالعه دیاز-لوپز و همکاران [۳۴] روی گونه *Jatropha curcas* مشاهده شد به طوری که با کاهش محتوای آب خاک، کارایی مصرف آب ۵۰ درصد کاهش یافت. رانی و همکاران [۳۵] نیز در بررسی روی ۵ گونه (*Betula*، *Ulmus parvifolia*، *Acer negundo*، *papyrtfera*، *Malus baccata*، *Robinia pseudoacacia*) تحت دو سطح آبیاری (مناسب، و کم‌آبی) مشاهده کردند که کارایی مصرف آب در نهال‌های *A. negundo* و *M. baccata* افزایش معناداری در شرایط خشکی شدید نشان داد که با نتایج تحقیق ما تا دوره آبیاری ۱۲ روزه مطابقت دارد (شکل ۱).

بیشترین مقدار آب نسبی برگ را تیمار ۴ روزه نشان داد که نسبت به تیمار ۱۶ روزه به مقدار ۵۵/۳ درصد بیشتر بود. محتوای نسبی آب (RWC) نشان‌دهنده رابطه بین صفات فیزیولوژیکی و سطح تحمل به خشکی گیاه است [۳۶]. یافته‌های هوآنگ و همکاران [۳۷] نیز حاکی است که با افزایش تنش خشکی از میزان محتوای نسبی آب برگ (RWC) در نهال‌های تحت تنش کاسته شد. در تحقیق پیش رو، با افزایش دوره آبیاری بر میزان نشت الکترولیت برگ‌ها نیز افزوده شد؛ طوری که بیشترین نشت الکترولیت را تیمار آبیاری ۱۶ روزه داشت که در مقایسه با دوره آبیاری ۴ روزه ۴۱/۲ درصد بیشتر بود که دلیل آن را می‌توان به افزایش پراکسیداسیون چربی‌ها و در نهایت کاهش شاخص پایداری غشای سلولی نسبت داد [۳۸].

مستقیم کاهش رطوبت خاک و آب قابل استفاده جهت رشد و توسعه ریشه برای نهال‌های تحت تنش دانست؛ به طوری که در خاک‌های خشک، افزایش پایداری مکانیکی و کاهش پتانسیل آب خاک به کاهش رشد و زی‌توده ریشه منجر می‌شود [۲۷].

اصولاً، کاهش میزان فتوسنتز خالص در نهال‌های تحت تنش می‌تواند به دلیل عدم جذب مناسب CO₂ از طریق باز و بسته شدن نامناسب روزنه‌های برگ [۲۸]، خسارت فتوسیستم II، کاهش فعالیت آنزیم Rubisco [۲۹]، کاهش هدایت روزنه‌ای [۳۰]، و میزان تعرق در نهال‌های تحت استرس باشد [۷] باشد. در تحقیق حاضر، با افزایش دور آبیاری میزان فتوسنتز و تعرق کاهش یافت که می‌تواند به کاهش هدایت روزنه‌ای مربوط باشد.

پتانسیل آبی ساقه ابزاری به منظور نمایش عملکرد گونه‌های مختلف در مواجهه با تنش خشکی است [۳۱]. در تحقیق حاضر، کاهش ۵۹ درصد پتانسیل آبی برای نهال‌های آبیاری ۱۶ روزه در مقایسه با آبیاری ۴ روزه را می‌توان این‌طور بیان کرد که گیاه از طریق تنظیم اسمزی و کاهش پتانسیل آبی ساقه در جهت حفظ آب درون سلولی و برقراری تورژانس اندام‌ها تلاش می‌کند تا حداکثر رطوبت را از خاک جذب کند [۳۲].

هنگامی که آب در دسترس برگ کافی نباشد، افزایش میزان کارایی مصرف آب (WUE)، استراتژی جایگزین برای بهبود عملکرد رویشی در گیاه تحت استرس محسوب می‌شود [۳۳]. بیشترین مقدار کارایی مصرف آب در نهال‌های تحت آبیاری ۸ روزه

جدول ۳. تجزیه واریانس یکطرفه صفات مورفولوژی اندازه‌گیری شده در دوره‌های مختلف آبیاری نهال اقاچیا

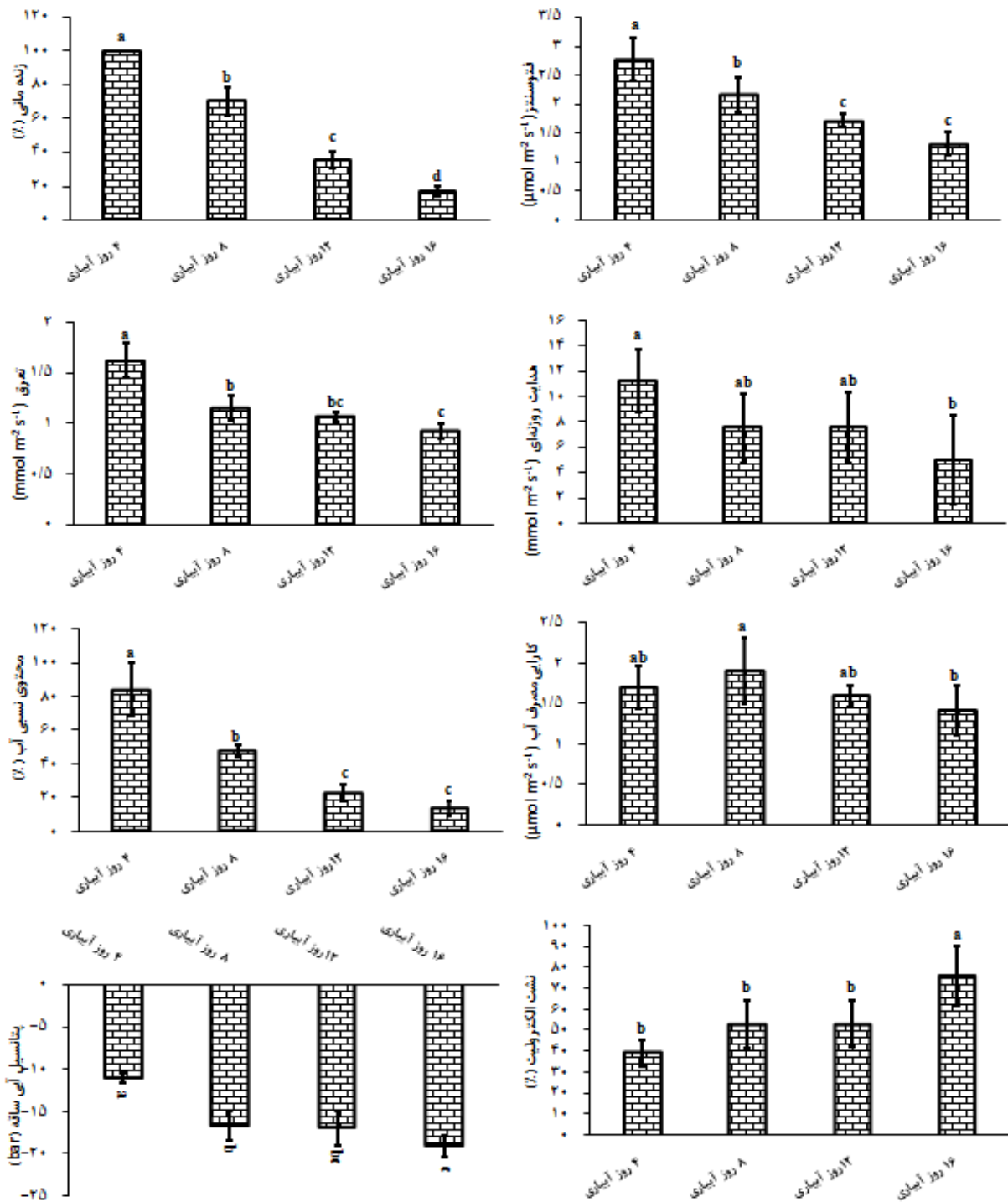
صفات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F	P sig.
ارتفاع نهال	۳	۳۰۲۵/۱۸	۱۰۰۸/۳۹	۳۰/۱۹۰**	۰/۰۰۰
طول ریشه	۳	۱۰۵/۷۴	۳۵/۲۴	۴/۸۶۹*	۰/۰۳۳
قطر یقه	۳	۱۰/۷۰۸	۳/۵۷	۱۴/۴۰۵**	۰/۰۰۰
سطح ویژه برگ	۳	۲۰۴۶۲/۶۵	۶۸۲۰/۸۸	۵/۴۸۳*	۰/۰۲۴
وزن خشک کل برگ	۳	۰/۳۶۹	۰/۱۲	۱۸/۳۶۰**	۰/۰۰۱
وزن خشک ساقه	۳	۴/۳۸۱	۱/۴۶۰	۷/۱۲۱*	۰/۰۱۲
وزن خشک ریشه	۳	۹/۹۳۲	۳/۳۱	۸/۱۰۶**	۰/۰۰۸
وزن خشک کل نهال	۳	۰/۴۷۵	۰/۱۶	۳۵/۰۰۱**	۰/۰۰۰
زنده‌مانی	۳	۱۲۳۵۶/۲۵	۴۱۱۸/۷۵	۱۵۲/۰۷۷**	۰/۰۰۰
فتوستنز	۳	۴/۶۵	۱/۵۵	۲۰/۸۹۹*	۰/۰۰۰
هدایت روزنه‌ای	۳	۱۷۶/۱۷	۵۸/۷۲	۸/۸۴۳**	۰/۰۰۲
تعرق	۳	۱/۰۷۰	۰/۳۵	۲۶/۴۵**	۰/۰۰۰
کارایی مصرف آب	۳	۰/۵۱۱	۰/۱۷۰	۲/۰۳۵ ^{ns}	۰/۱۶۳
پتانسیل آبی	۳	۱۴۲/۶۱	۴۷/۵۳	۲۱/۸۷۵*	۰/۰۰۰
محتوای نسبی آب	۳	۹۰۱۱/۷۲	۳۰۰۳/۷۹	۳۰/۷۹۴*	۰/۰۰۰
نشت الکترولیت	۳	۲۱۲۶/۱۳	۷۰۸/۷۱	۵/۷۶۸*	۰/۰۲۱

عدد معناداری (sig.)، ns عدم معناداری، ** سطح اطمینان آماری ۹۹ درصد، * معناداری در سطح اطمینان آماری ۹۵

جدول ۴. مقایسه میانگین صفات مورفولوژی نهال‌های اقاچیا، در دوره‌های مختلف آبیاری

صفات	۴ روز آبیاری	۸ روز آبیاری	۱۲ روز آبیاری	۱۶ روز آبیاری
ارتفاع نهال (cm)	۴۰/۵ (۶/۳۷) ^a	۲۸/۷ (۷/۰۷) ^b	۲۱/۸ (۴/۹) ^c	۲۰/۴۵ (۴/۳۴) ^c
طول ریشه (cm)	۲۲/۳ (۱/۰۱) ^c	۲۴ (۲) ^{ab}	۲۸/۸ (۴/۵) ^a	۲۱ (۱/۷۳) ^c
قطر یقه (mm)	۳/۲ (۰/۵۴) ^a	۲/۴۵ (۰/۶۴) ^b	۲/۰۳ (۰/۲۹) ^b	۲/۰۵ (۰/۴۴) ^b
سطح ویژه برگ (cm ² g ⁻¹)	۲۱۵/۶ (۲۸) ^a	۱۵۶/۷ (۲۵/۵) ^{ab}	۱۵۲/۱۱ (۵۲/۳) ^{ab}	۹۸/۹ (۲۸/۲) ^c
وزن خشک کل برگ (g)	۱/۵۸ (۰/۴۲) ^a	۰/۹ (۰/۱۲) ^b	۰/۵ (۰/۳۸) ^c	۰/۶۱ (۰/۰۰۶) ^c
وزن خشک ساقه (g)	۲/۱۴ (۰/۵۷) ^a	۱/۰۷ (۰/۵۸) ^b	۰/۷۴ (۰/۱۲) ^b	۰/۶۰ (۰/۳۶) ^b
وزن خشک ریشه (g)	۳/۵۱ (۰/۵۷) ^a	۳/۲۴ (۰/۹۲) ^a	۱/۹ (۰/۶۶) ^b	۱/۳۳ (۰/۱۲) ^b
وزن خشک کل نهال (g)	۸/۸۳ (۰/۷۳) ^a	۵/۳ (۱/۱۱) ^b	۳/۲ (۰/۶۵) ^c	۲/۷۷ (۰/۰۳) ^c

** وزن‌های خشک اندام‌های مختلف نهال، معدل اندازه‌گیری ۳ نهال است. اعداد نشان‌دهنده میانگین (انحراف معیار) است.



شکل ۱. مقایسه میانگین زنده‌مانی و صفات فیزیولوژی اندازه‌گیری شده نهال‌های افاقیا در دوره‌های مختلف آبیاری

کرد که از نظر پارامترهای بررسی‌شده، به‌ویژه زنده‌مانی و اندازه‌های رویشی، نهال‌ها به تیمار آبیاری ۸ روزه (با تفاوت اندکی نسبت به دوره آبیاری ۴

نتیجه‌گیری کلی

به‌طور کلی، از یافته‌های این تحقیق می‌توان جمع‌بندی

نهال جنگلی متناسب با نیازهای آب‌وهوایی این گونه
انجام داد.

روزه) واکنش به نسبت خوبی به خشکی نشان دادند؛
طوری‌که تیمار آبیاری ۸ روزه می‌تواند به‌منزله دور
آبیاری قابل قبول و اقتصادی مدنظر قرار گیرد.
می‌توان تحقیقات مشابهی می‌را در نهالستان‌های تولید

References

- [1]. Kafi, M., and Mahdavi-Damghani, A. (2000). Mechanism of Tolerance to Environmental Stress in Sowings Plant. Ferdowsi University of Mashhad, 467pp.
- [2]. Jones, H.G., and Corlett, J.E. (1992). Current topics in drought physiology. Journal of Agricultural Science-Cambridge, 11(9): 291-291.
- [3]. Mirzaei, D.J., Tabari, M., and Daroodi, H. (2007). Early growth of *Quercus castaneifolia* seedlings as affected by weeding, shading and irrigation. Pakistan Journal of Biological Sciences, 10 (15): 2430-2435.
- [4]. Rad, M.H., Asare, M.H., and Soltani, M. (2010). Root responses of *Eucalyptus (Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) to drought stress. Iranian Forest and Poplar Research, 18(2): 285-296.
- [5]. Lowlor, D.W., and Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants, Plant Cell and Environment, 25:275-294.
- [6]. Sanchez, D.H., Siahpoosh, M.R., Roessner, U., Udvardi, M., and Kopka, J. (2008). Plant metabolomics reveals conserved and divergent metabolic responses to salinity. Physiologia Plantarum, 132(2): 209-219.
- [7]. MansWeld, T.J., and Atkinson, C.J. (1990). Stomatal behavior in water stressed plants in: Alscher R.G., Cumming J.R. (Eds.) "Stress Responses in Plants: Adaptation and Acclimation Mechanisms" Wiley-Liss, New York. 241-264.
- [8]. Kafi, M., Borzoi, A., Salehi, M., Kamandi, A., Masomi, A., and Nabati, J. (2009). Environmental stress physiology in plants. Jahad Mashhad University Press. 502pp.
- [9]. Colom, M.R., and Vazzana, C. (2001). Drought stress effects on three cultivars of *Eragrostis curvula*: photosynthesis and water relations. Plant Growth regulation, 34 (2): 195-202.
- [10]. Sarmadnia, G., and Kochaki, A. (1989). Crop Physiology (translated). Jahad Mashhad University Press. 467p.
- [11]. Akamatsu, F., Ide, K., Shimano, K., and Toda, H. (2011). Nitrogen stocks in a riparian area invaded by N-fixing black locust (*Robinia pseudoacacia* L.). Landscape and Ecological Engineering, 7 (1): 109-115.
- [12]. Maekawa, M., and Nakagoshi, N. (1997). Impact of biological invasion of *Robinia pseudoacacia* on zonation and species diversity of dune vegetation in Central Japan. Japan Journal Ecology, 47 (2):131-143.
- [13]. Yamada, K., and Masaka, K. (2007). Present distribution and historical background of the invasive alien species *Robinia pseudoacacia* on former coalmine land in Hokkaido. Japan Journal Conservation Ecology, 12 (2):94-102.
- [14]. Boring, L.R., and Swank, W.T. (1984). The role of black locust (*Robinia pseudoacacia*) in forest succession. The Journal of Ecology, 749-766.

- [15]. 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.
- [16]. Xiaoling, L., Ning, L., Jin, Y., Fuzhou, Y., Faju, C., and Fangqing, C. (2011). Morphological and photosynthetic responses of riparian plant *Distylium chinense* seedlings to simulated autumn and winter flooding in three gorges reservoir region of the Yangtze River, China. *Acta Ecologica Sinica*, 31: 31-39.
- [17]. Kusaka, M., Ohta, M., and Fujimura, T. (2005). Contribution of inorganic components to osmotic adjustment and leaf folding for drought tolerance in pearl millet, *Plant Physiology*, 125: 474–189.
- [18]. Jarrett, R.D. (1991). *Paleohydrology and its value in analyzing floods and droughts*, US Geological Survey Water-Supply, 2375 pp.
- [19]. Fotelli, M.N., Radoglou, K.M., and Constantinidou, H.I. (2000). Water stress responses of seedlings of four Mediterranean oak species. *Tree Physiology*, 20 (16): 1065-1075.
- [20]. Asri, M., Tabari, M., Alavi-Panah, S.K., and Mahdavi, R. (2007). Growth and development of oak seedlings at different irrigation levels. *Research and Development*, 78: 167-176.
- [21]. Ehsani-Tabatabaei, F. (2006). *Plant Stresses of Physiology*. Payam Noor University Press. 247pp.
- [22]. Peng, Y., Lin, W., Cai, W., and Arora, R. (2007). Over expression of a panax ginseng tonoplast aquaporin alters salt tolerance, drought tolerance and cold acclimation ability in transgenic *Arabidopsis* plants. *Planta*, 226 (3): 729-740.
- [23]. Duan, B., Lu, Y., Yin, C., Junttila, O., and Li, C. (2005). Physiological responses to drought and shade in two contrasting *Picea asperata* populations. *Physiologia Plantarum*, 124 (4): 476-484.
- [24]. Iivonen, S., Rikala, R., and Vapaavuori, E. (2001). Seasonal root growth of *Scots pine* seedlings in relation to shoot phenology, carbohydrate status, and nutrient supply. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(9): 1569-1578.
- [25]. 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.
- [26]. Rao, G.R., Korwar, G.R., Shanker, A.K., and Ramakrishna, Y.S. (2008). Genetic associations, variability and diversity in seed characters, growth, reproductive phenology and yield in *Jatropha curcas* (L.) accessions. *Trees*, 22: 697–709.
- [27]. Khaldbrin, B., and Eslamzade, M.T., (2001). *The mineral feeding higher plants. Volume I (Translated)*. Shiraz University. 451pp.
- [28]. Gallé, A., Haldimann, P., and Feller, U. (2007). Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak (*Quercus pubescens*) trees during drought stress and recovery. *New Phytologist*, 174 (4): 799-810.
- [29]. Loreto, F., Ciccioli, P., Cecinato, A., Brancaleoni, E., Frattoni, M., and Tricoli, D. (1996). Influence of environmental factors and air composition on the emission of α -pinene from *Quercus ilex* leaves. *Plant Physiology* 110: 267–275.

- [30]. Demmig, B., and Bjorkman, O. (1987). Comparison of the effect of excessive light on chlorophyll fluorescence (77 K) and photon yield of O, evolution in leaves of higher plants. *Planta* 171: 171-184.
- [31]. Moriana, A., Villalobos, F.J., and Fereres, E. (2002). Stomatal and photosynthetic responses of olive (*Olea europaea L.*) leaves to water deficits. *Plant, Cell and Environment*, 25(3): 395-405.
- [32]. Sánchez-Blanco, M. J., Ferrández, T., Morales, M., Morte, A., and Alarcón, J.J. (2004). Variations in water status, gas exchange, and growth in *Rosmarinus officinalis* plants infected with *Glomus deserticola* under drought conditions. *Journal of Plant Physiology*, 161: 675-682.
- [33]. Araus, J.L., Slafer, G.A., Reynolds, M.P., and Royo, C. (2002). Plant breeding and drought in C-3 cereals: what should we breed for? *Annual Botany*, 89: 925-940.
- [34]. Diaz-Lopez, L., Gimeno, V., Simon, I., Martinez, V., Rodriguez-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.
- [35]. Ranney, T.G. 1989. Comparative physiology and drought tolerance in selected woody plants. PhD Dissertation, Cornell Univ., Ithaca, N.Y.
- [36]. Farooq, M., Wahid, A., Kobayashi, N., Fujita, D., and Basra, S. M. A. (2009). Plant drought stress: effects, mechanisms and management. In *Sustainable Agriculture*. Springer Netherlands. 153-188 pp.
- [37]. Huang, W., Fu, P.L., Jiang, Y. J., Zhang, J.L., Zhang, S. B., Hu, H., and Cao, K.F. (2013). Differences in the responses of photosystem I and photosystem II of three tree species *Cleistanthus sumatranus*, *Celtis philippensis* and *Pistacia weinmannifolia* exposed to a prolonged drought in a tropical limestone forest. *Tree Physiology*, 33(2): 211-220.
- [38]. Premachandra, G. S., Saneoka, H., Fujita, K., and Ogata, S. (1992). Leaf water relations, osmotic adjustment, cell membrane stability, epicuticular wax load and growth as affected by increasing water deficits in sorghum. *Journal of Experimental Botany*, 43(12): 1569-1576.