

تغییرات صفات ریختی و فیزیولوژیکی نهال‌های استبرق

(Calotropis procera) در شرایط تنش آبی

محمد بهمنی^۱، مسعود طبری کوچکسرایبی^۲، سید غلامعلی جلالی^۳، داود کرتولی نژاد^{۴*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۶/۲

چکیده

از جمله مهم‌ترین تنش‌های محیطی که گیاهان مناطقی کم‌باران نظیر بخش‌های جنوبی و مرکزی ایران با آن مواجه‌اند، تنش‌های کم‌آبی و نبود آب کافی در طی مراحل رویش محسوب می‌شود. گیاه استبرق یکی از گونه‌های ارزشمند با موارد استفاده صنعتی (تولید الیاف با کیفیت) و دارویی فراوان است که مقاومت نسبتاً خوبی به شرایط خشک جنوب کشور دارد. تحقیق حاضر با هدف بررسی اثر تنش آبی بر صفات ریختی و فیزیولوژیکی نهال‌های استبرق (*Calotropis procera* Ait.) در شرایط گلخانه انجام شد. این آزمایش در شش سطح تنش آبی (دوره‌های آبیاری ۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ روزه) در قالب طرح کاملاً تصادفی در مدت شش ماه صورت گرفت. میزان زنده‌مانی در دوره‌های آبیاری سه، شش و نه روز برابر با ۱۰۰٪ و در ۱۲ روز ۷۵٪ بود، اما در تنش‌های آبی ۱۵ و ۱۸ روز، هیچ نهالی زنده نماند. بزرگ‌ترین میزان طول ریشه، نسبت ریشه به ساقه، سطح ریشه، حجم ریشه و تراکم طول ریشه در تنش آبیاری دوره‌ای نه روز مشاهده شد. پتانسیل آبی با افزایش تنش آبی افزایش یافت. بیشترین مقادیر فتوستتوز، هدایت روزنه‌ای، تعرق و دمای سطح برگ، وزن تر و خشک ساقه و ریشه، ارتفاع نهال، قطر یقه و تعداد برگ به سطح آبیاری سه روز تعلق داشت. به‌طور کلی، یافته‌های این تحقیق آشکار ساخت که در شرایط مورد مطالعه، نهال‌های استبرق از نظر ویژگی‌های ریختی و فیزیولوژیکی پاسخ نسبتاً خوبی به دور آبیاری سه تا نه روز نشان داده است. این در حالی است که به دلیل شرایط خوب نهال‌ها و زنده‌مانی ۱۰۰ درصدی آن‌ها در دوره آبیاری ۹ روزه، می‌توان جهت استفاده این گونه در جنگل‌کاری‌ها و فضای سبز، دوره آبیاری ۹ روز را پیشنهاد نمود که به لحاظ اقتصادی و مدیریتی نسبت به دوره ۳ روزه اهمیت بیشتری دارد.

کلمات کلیدی: استبرق، دوره آبیاری، زنده‌مانی نهال، فتوستتوز، هدایت روزنه‌ای.

۱. دانشجوی دکتری اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

۲. استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

۳. دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، مازندران، ایران

۴. استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کویرشناسی دانشگاه سمنان / Email: kartooli58@profs.semnan.ac.ir

مقدمه

نور خورشید و... جهت زنده‌مانی به‌کار می‌گیرند (خان و بینا^۸، بینا^۹، ۲۰۰۲).

درختچه استبرق (*Calotropis procera* Ait.) متعلق به خانواده *Asclepiadaceae*، درختچه‌ای همیشه سبز و چندساله است. این گونه بیشتر در نواحی گرم بیابانی جنوب غربی آسیا و ناحیه مدیترانه تا سواحل آفریقا همچون در جنوب ایران پراکنش دارد. استبرق گونه‌ای منحصربه‌فرد که در جنگل‌کاری و احیای اراضی تخریب‌یافته مناطق خشک و بیابانی به‌ویژه در جنوب کشور نقش مهمی ایفا می‌کند (گاترمن^۹، ۱۹۹۵). گونه مزبور خواص دارویی فراوانی داشته و از قدیم در مناطقی نظیر هند، آفریقا و حتی ایران از آن برای درمان امراض و زخم‌های پوستی، کرم‌ها و بیماری‌های روده‌ای و شکمی، تب، جزام، اگزما، اسهال، سرفه، عفونت‌های قارچی، آسم، تشنج و... استفاده می‌شد. علاوه بر این، الیاف بسیار ارزشمندی از برگ و میوه آن تولید می‌گردد (شوبووال^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۳).

گیاه استبرق مقاوم به شرایط خشک (بارندگی ۳۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر) بوده، قابلیت زیستن روی شن‌های روان را نیز داشته و شوری خاک را حتی در سطح بالا در شرایط بلوغ، به‌خوبی تحمل می‌کند؛ اما پراکنش آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک با مشکلاتی روبه‌روست که توسعه جوامع آن را گهگاه با مخاطراتی مواجه می‌سازد (بوترا^{۱۱}، ۲۰۱۰؛ تقوایی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۲). در ایران گونه استبرق با وجود تولید بذر انبوه در عرصه‌های طبیعی رویش خود و حتی قوه نامیه بالای بذر، با مشکلات شدید استقرار روبه‌روست (خائف^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۳) که دلایل آن به‌طور کامل شناخته‌شده نیست. طی تحقیقی (بوترا، ۲۰۱۰) با مطالعه اثرات تنش آبی بر عملکرد رویشی درختچه استبرق، مشاهده نمودند که تنش آبی به‌طور معنی‌داری وزن خشک ریشه را در ظرفیت زراعی ۸۰ درصد نسبت به ۵۰ و ۳۰ درصد کاهش داد. بیشترین سطح برگ در تنش آبی میانی (۵۰ درصد) مشاهده شد. میزان رشد در ظرفیت زراعی ۵۰ درصد نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود؛ به‌طوری‌که

ایران با قرار گرفتن در عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۳۸ درجه شمالی جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان به‌شمار می‌رود. بنا بر نظر محققان، ایران در سال‌های اخیر جزء کشورهای تحت تنش شدید معرفی شده است (آلکامو^۱، ۲۰۰۰). تنش آبی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که رشد و عملکرد گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (خلف‌الله و ابوقلیا^۲، ۲۰۰۸). در اغلب مناطق خشک دسترسی به آب مهم‌ترین عامل محیطی محدودیت رشد و تولید گیاهان است (ولچلگر^۳ و همکاران، ۲۰۰۲). از این رو فهم و آگاهی پاسخ گیاهان به خشکی، می‌تواند در حفاظت و توسعه پوشش گیاهی مناطق خشک نقش بزرگی داشته باشد.

تنش خشکی اثرات متفاوتی بر پارامترهای رشد گیاهان دارد (وو^۴ و همکاران، ۲۰۰۸). خشکی باعث کاهش زنده‌مانی، سطح برگ، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز می‌شود (جین بینگ^۵ و همکاران، ۲۰۰۷). گیاهان برای با مقابله و سازگاری به شرایط خشکی، سازوکارهای مختلفی دارند که می‌توان به مکانیسم فرار، اجتناب از خشکی و تحمل خشکی اشاره کرد که در توانایی گیاه به زنده‌مانی در برابر خشکی سهیم است (آلپرت^۶، آلپرت^۶، ۲۰۰۰). تنش‌های آبی تقریباً در تمام فرایندهای رشد گیاه مؤثرند، به‌طوری‌که در تنش‌های طولانی مدت سبب کم شدن آماس سلول و منجر به کاهش اندازه گیاه می‌شود. محققان حساس‌ترین مرحله تأثیر شرایط سخت محیطی بر گیاه را در مرحله سنی نهالی می‌دانند (پسرکلی^۷، ۱۹۹۹). گونه‌های بیابانی سازش‌های مختلفی را از جمله افزایش ذخیره آب در بافت‌ها، افزایش ضخامت موم و کوتیکول، کاهش اندازه برگ، تغییر شکل برگ‌ها به خار، کاهش تعداد برگ، انتقال نقش فتوسنتز از برگ به ساقه، تغییر زاویه برگ نسبت به

1. Alcamo
2. Khalafallah and Abo-Ghali
3. Wullschlegel
4. Wu
5. Jinying
6. Alpert
7. Pessaraki

8. Khan and Beena
9. Guterman
10. Shobowale
11. Boutraa
12. Taghvaei
13. Khaef

بودن پتانسیل آب در این گیاه می‌باشد که متأثر از پایین بودن پتانسیل اسمزی برگ است.

با توجه به نبود مطالعات کافی در زمینه پاسخ گونه استبرق موجود در ایران به تنش‌های محیطی از جمله شرایط کمبود آب، در تحقیق حاضر، تلاش شده تا با بررسی رشد و فیزیولوژی نهال‌های این گونه تحت تنش آبی القایی در شرایط گلخانه‌ای مطالعه و بهترین شرایط مطلوب رشد و زنده‌مانی نهال استبرق در دوره‌های مختلف آبیاری را تعیین نماید.

مواد و روش‌ها

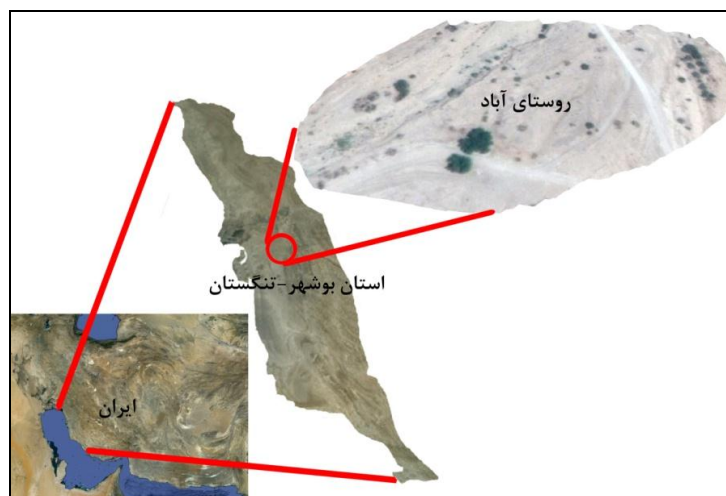
در تحقیق حاضر، بذر گونه مورد مطالعه استبرق (*Calotropis procera* Ait.)، از یکی از رویشگاه‌های طبیعی آن یعنی روستای آباد، واقع در شهرستان تنگستان از توابع استان بوشهر تهیه شد. کپسول‌های تازه استبرق در مرداد ماه سال ۱۳۹۱ از منطقه مزبور با عرض جغرافیایی ۳۲۱۳۲۰۶ متر شمالی و طول ۵۲۳۷۰۳ متر شرقی (در سیستم متریک) و ارتفاع از سطح دریای معادل ۵۸ متر جمع‌آوری شد. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه جمع‌آوری بذر استبرق را در شهرستان تنگستان بوشهر نشان می‌دهد. میوه‌های استبرق پس از جمع‌آوری خشک شده و بذرها از درون کپسول‌ها خارج و پاک‌سازی گردید. سپس بذرها خشک شده به آزمایشگاه منتقل شد و در آنجا ویژگی‌های فیزیولوژی بذر نظیر رطوبت، وزن هزار دانه، قوه نامیه و تعداد در هر کیلوگرم مورد ارزیابی گردید. نتایج اندازه‌گیری‌های ویژگی‌های ظاهری و فیزیولوژیک بذر استبرق مورد استفاده، در جدول (۱) ارائه شده است. سپس بذور همسان و یکنواخت استبرق، انتخاب و به مدت دو دقیقه در محلول قارچ کش کربوکسین تیرام (۲) گرم در لیتر) ضدعفونی شد.

سپس، گلدان‌های پلاستیکی به ابعاد ۲۰×۱۵ cm حاوی خاک دارای بافت شنی-لومی مخلوط با کوکوپیت تهیه و با قارچ کش کاربندازین استریل شدند. خاک گلدان‌ها قبل از کاشت، مورد بررسی و تجزیه عناصر قرار گرفتند که ویژگی‌های آن در جدول (۲) ذکر شده است. سپس بذرها را استبرق در عمق ۰/۵ تا ۱ سانتی‌متر بستر گلدان کشت و بعد از سبز شدن و رسیدن تا ارتفاع مشخصی در یک دوره رویشی

کاهش ۲۵ درصد ارتفاع و تعداد برگ ظرفیت زراعی ۳۰ و ۸۰ درصد همچنین کاهش ۴۰ و ۴۵ درصد وزن تر و خشک به ترتیب در ظرفیت زراعی ۳۰ و ۸۰ درصد مشاهده شد. تزارا و همکاران (۲۰۱۰) نیز با آزمایشی بر روابط آبی و ظرفیت فتوسنتزی دو گونه استبرق در طول فصول مرطوب و خشک پایه‌ها در رویشگاه، دریافتند که میزان آب نسبی برگ گونه *C. gigantea procera* در فصل خشک به ترتیب ۱۴ و نه درصد کاهش می‌یابد. گونه *C. procera* سطح ویژه برگ کمتری نسبت به *C. gigantea* داشت. در طول فصل مرطوب، فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای *C. procera* تقریباً ۲۸ و ۶۶ درصد بیشتر از *C. Gigantea* بود. در صورتی که فتوسنتز و هدایت روزنه‌ای در *C. procera* در طول فصل خشک، به ترتیب ۴۸ و ۴۹ درصد در مقایسه با *C. Gigantea* کاهش یافته بود. گونه *C. Gigantea* میزان تعرق کمتر و کارایی مصرف آبی بیشتری داشت. اخیراً ابراهیم^۲ (۲۰۱۳) طی تحقیقی به بررسی پاسخ تنش‌های آبی درختچه استبرق (*C. procera*) و سیاه شور (*Sauda aegyptiaca*) پی برد که تنش آبی به‌طور معنی‌داری، وزن خشک گیاه را کاهش داده است. نسبت ریشه به ساقه استبرق بیش از سه برابر سیاه شور شده بود. نسبت جذب پتاس به سدیم در برگ استبرق کاهش یافته بود. میزان پرولین و آمینواسیدهای آزاد در استبرق ۲-۱/۳ برابر بیشتر از گیاه سیاه شور است. به طوری که در تحت تنش، هر دو گونه با افزایش تجمع پرولین و کاهش میتونین همراه بودند. در ایران نیز مطالعات انجام شده در زمینه ارزیابی اثرات تنش آبیاری عمدتاً مربوط به محصولات زراعی و باغی همچون گندم، ذرت، سویا، کلزا، آفتابگردان، برنج، شبدر، انگور، پسته و... است. اما در این باره می‌توان به پژوهش انجام شده روی گونه تاغ (*Haloxylon aphyllum*) توسط راد^۳ و همکاران (۲۰۰۸) در شهرستان یزد اشاره کرد. نتایج آنان نشان داد که پتانسیل آب گیاه، پتانسیل اسمزی برگ و ریشه به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای مختلف رطوبتی قرار می‌گیرند. همچنین نتایج آنان نشان داد که یکی از عوامل اصلی مقاومت به خشکی در گونه تاغ، پایین

1. Tezara
2. Ibrahim
3. Rad

پنج ماهه اقدام به اعمال تنش آبی دوره‌ای با دوره‌های آبیاری ۳، شهریورماه ۱۳۹۲ گردید. ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ روز به مدت شش ماه از فروردین تا



شکل (۱): موقعیت مکانی منطقه جمع‌آوری بذر درختچه بیابانی استبرق

جدول (۱): ویژگی‌های ظاهری و فیزیولوژیک بذر گونه استبرق

گونه	مبدأ	تاریخ جمع‌آوری	تاریخ آزمایش	درصد خلوص	وزن هزار دانه (گرم)	تعداد در کیلوگرم	رطوبت (%)	قوة نامیه (%)
استبرق	بوشهر	مرداد ۹۱	مهر ۹۱	۱۰۰	۸/۴۱	۱۱۸۰۰	۵۲/۲	۹۵

جدول (۲): خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بستر کاشت مورد استفاده برای نهال‌های استبرق

هدایت الکتریکی ($\mu\text{S}/\text{m}$)	pH	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	نیترژن (درصد)	فسفر (ppm)	پتاسیم (ppm)	آهن (ppm)	منگنز (ppm)	روی (ppm)
۰/۳۲۸	۷/۷۱	۵۰	۲۰	۳۰	۱/۱۳	۰/۲	۹	۰/۱۳	۰/۰۲	۰/۰۸

تنش به دلیل خشک شدن خاک گلدان‌ها با در نظر گرفتن ظرفیت زراعی خاک، به مقادیر آب آبیاری افزوده می‌شد. در طول دوره تنش به منظور تقویت عناصر تغذیه‌ای، هفته‌ای یک بار به نهال‌ها محلول غذایی هوگلند داده شد (تایز و زیگر، ۲۰۱۰) و همچنین حداقل و حداکثر دما و رطوبت نسبی گلخانه در دوره پژوهش، به ترتیب ۱۸ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۲ و ۵۰ درصد بود.

در پایان دوره شش ماهه تنش (شهریور ماه)، وزن تر و خشک ساقه و ریشه‌ها با ترازوی دیجیتال (دقت ۰/۰۰۱ گرم)، ارتفاع نهال، با خط‌کش و قطر یقه با کولیس (دقت ۰/۰۱ میلی‌متر) اندازه‌گیری شد. برای تعیین حجم ریشه، ابتدا گلدان‌ها را به مدت یک ساعت در ظرف حاوی آب قرار داده و بعد از شست‌وشوی ریشه‌ها، آن را در استوانه مدرج قرار داده و از اختلاف جابه‌جایی آب، حجم ریشه محاسبه شد.

آبیاری گلدان‌ها با توجه به ظرفیت زراعی خاک، نقطه پژمردگی خاک و وزن مرجع، با شش سطح فاصله آبیاری (۳، ۶، ۹، ۱۲، ۱۵ و ۱۸ روز) انجام شد، به طوری که گلدان‌ها در هر سطح آبیاری به وزن مرجع (۲۲۴۲ گرم) رسانده می‌شدند. به عبارت دیگر، اعمال تنش خشکی به طریق فاصله آبیاری با حفظ ظرفیت زراعی خاک به صورت وزنی با استفاده از ترازوی دیجیتال دقیق اعمال شد. به گونه‌ای که گلدان‌های ۳ روز آبیاری (شاهد) هر سه روز به وزن مرجع ذکر شده رسانده می‌شد. همچنین سایر فواصل آبیاری به ترتیب هر ۶ روز، ۹ روز، ۱۲ روز، ۱۵ روز و ۱۸ روز یک‌بار آبیاری به میزان وزن مرجع مذکور انجام می‌گرفت. بنابراین در طول شش ماه تنش خشکی طولانی مدت، تعداد دفعات آبیاری گلدان‌ها براساس سطوح فواصل آبیاری به ترتیب ۶۰، ۳۰، ۲۰، ۱۵، ۱۲ و ۱۰ بار آبیاری شدند. گفتنی است که با افزایش فواصل آبیاری و دوره

شد. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرونوف، همگنی واریانس‌ها از آزمون لون، مقایسه چندگانه میانگین‌ها، از آزمون چنددامنه‌ای دانکن در سطح آماری ۵ و ۱ درصد و ترسیم جداول نیز با اکسل استفاده شد.

نتایج

نتایج آزمون تجزیه واریانس نشان داد که ویژگی‌ها و صفات ریختی نهال‌های استبرق، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش آبی یا دوره‌های مختلف آبیاری قرار گرفتند. جدول (۳) نتایج تجزیه واریانس اثرات دوره‌های آبیاری بر صفات ریختی نهال‌های استبرق در شرایط گلخانه را نشان می‌دهد.

جدول (۴) نیز نتایج تجزیه واریانس اثرات دوره‌های مختلف آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی نهال‌های استبرق را در شرایط گلخانه نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثرات دوره‌های آبیاری بر صفات ریختی نهال‌های استبرق

منابع تغییر	درجه آزادی	حجم ریشه	تراکم طول ریشه	سطح ویژه برگ	ارتفاع نهال	تعداد برگ	زننده‌مانی	قطر یقه
دوره آبیاری	۵	۲۷/۸**	۰/۰۰*	۷۵۶۹۸/۹**	۱۳۳/۷**	۱۹/۸**	۷۳۱۲/۵	۳/۵۱**
خطا	۱۲	۴/۷۲	۰/۰۰	۶۸۱۷/۷	۶/۳۳	۰/۳۳	۰/۰۰	۰/۵۶
کل	۱۷							
منابع تغییر	درجه آزادی	سطح ریشه	طول ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر ریشه	وزن خشک ساقه	وزن تر ساقه	نسبت ریشه به ساقه
دوره آبیاری	۵	۳۲۹/۷**	۸۱/۶*	۱/۷**	۳۰/۲**	۲۰/۸**	۹/۵**	۰/۰۸**
خطا	۱۲	۲۸/۴۶	۱۷/۹۲	۰/۱۸	۴/۰۱	۰/۰۳	۰/۶۲	۰/۰۱
کل	۱۷							

** و * به ترتیب وجود اختلاف معنی‌داری آماری در سطح احتمال ۹۹ و ۹۵ درصد را نشان می‌دهند (مقادیر ارائه‌شده در جدول، بیانگر MS است).

جدول ۴. تجزیه واریانس اثرات دوره‌های آبیاری بر صفات فیزیولوژیکی نهال‌های استبرق

منابع تغییر	درجه آزادی	پتانسیل آبی	کلروفیل نسبی	فستوتز	هدایت روزنه‌ای	تعرق	دمای سطح برگ
تنش آبی	۵	۰/۵۷**	۲۳۴۴/۷**	۱۳/۱**	۱۴۹۳/۳**	۰/۰۲*	۵۵۴/۱**
خطا	۱۲	۰/۰۱	۴۹/۷	۰/۲۲	۱۷۷/۷	۰/۰۱	۰/۰۰
کل	۱۷						

** و * به ترتیب وجود اختلاف معنی‌داری آماری در سطح احتمال ۹۹ و ۹۵ درصد را نشان می‌دهند. (مقادیر ارائه‌شده در جدول، بیانگر میانگین مربعات است).

1. Bohm
2. Newman
3. Leaf Area Meter., UK
4. CO2 flux ADC BioScientific Ltd., UK
5. Pressure Chamber Skye. SKPM1400, UK
6. Leaf Chlorophyll Meter Model SPAD 502 Minolta, Japan

پس از تجزیه واریانس، مقایسه چندگانه میانگین صفات شد که نتایج آن در جدول (۵) و (۶) ارائه گردیده است. ریختی و فیزیولوژیک نهال‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام

جدول (۵): مقایسه میانگین (±خطای معیار)* صفات ریختی نهال‌های استبرق تحت تأثیر تنش آبی دوره‌ای

دوره‌های تنش آبی	وزن تر ساقه (g)	وزن خشک ساقه (g)	قطر یقه (cm)	وزن تر ریشه (g)	وزن خشک ریشه (g)	سطح ریشه (cm ²)	حجم ریشه (cm ³)
روز ۳	۵ ^a	۱/۲۲ ^a	۵/۳۵ ^a	۸/۸ ^a	۲/۱۹ ^a	۳۶/۷۹ ^{ab}	۸/۵ ^a
	(۰/۱۸)	(۰/۲۲)	(۰/۳۱)	(۱/۷۸)	(۰/۳۹)	(۴/۹۳)	(۲/۰۲)
روز ۶	۳/۷ ^{ab}	۰/۷۹ ^b	۴/۲۴ ^{abc}	۴/۳۱ ^b	۱/۴۵ ^{ab}	۳۰/۸۵ ^b	۷ ^{ab}
	(۱/۰)	(۰/۲۴)	(۰/۱۹)	(۱/۵۷)	(۰/۴۵)	(۵/۱۳)	(۱/۷۳)
روز ۹	۳/۸ ^{ab}	۰/۷۴ ^{bc}	۴/۶۸ ^{ab}	۴/۳۹ ^b	۰/۹۱ ^{bc}	۴۱/۷۲ ^a	۸/۵ ^a
	(۰/۱)	(۰/۰۰)	(۰/۸۱)	(۱/۵۲)	(۰/۰۰)	(۰/۶۳)	(۱/۴۴)
روز ۱۲	۲/۷ ^c	۰/۵۷ ^c	۳/۶۸ ^{bcd}	۱/۹۸ ^{bc}	۰/۵۸ ^c	۲۰/۹ ^c	۳/۲۵ ^{bc}
	(۰/۳)	(۰/۰۴)	(۰/۰۴)	(۰/۰۳)	(۰/۰۲)	(۱/۸۲)	(۰/۴۳)
روز ۱۵	۰/۶ ^d	۰/۴۴ ^c	۲/۸۵ ^{cd}	۰/۴۵ ^c	۰/۲۶ ^c	۱۸/۱۴ ^c	۲/۵ ^c
	(۰/۰۳)	(۰/۰۰)	(۰/۲۰)	(۰/۰۵)	(۰/۰۹)	(۱/۵۴)	(۰/۲۸۸)
روز ۱۸	۰/۷ ^d	۰/۴۳ ^c	۲/۸۳ ^d	۰/۴۵ ^c	۰/۲۵ ^c	۱۶/۶۱ ^c	۲ ^c
	(۰/۰۳)	(۰/۱۰)	(۰/۳۶)	(۰/۰۴)	(۰/۰۲)	(۰/۲۱)	(۰/۰۰)
دوره‌های تنش آبی	تراکم طول ریشه (Cm .Pot ⁻¹)	طول ریشه (cm)	ارتفاع نهال (cm)	نسبت ریشه به ساقه	سطح ویژه برگ (cm g ⁻¹)	زنده‌مانی (%)	تعداد برگ
روز ۳	۰/۰۱۳۳ ^b	۲۶ ^b	۳۲ ^a	۰/۸۷ ^c	۱۷۹ ^b	۱۰۰ ^a	۶/۳۳ ^a
	(۰/۰۰۲)	(۰/۵۸)	(۰/۵)	(۰/۰۱۹)	(۳۴/۴۶)	(۰/۰۰)	(۰/۳۳)
روز ۶	۰/۰۱۱۲ ^b	۲۲ ^b	۲۹ ^a	۰/۸۵ ^c	۲۰۱/۲ ^b	۱۰۰ ^a	۴ ^b
	(۰/۰۰۰۸)	(۱/۷۳)	(۱/۱۵)	(۰/۰۲۸)	(۱۶/۰۰۶)	(۰/۰۰)	(۰/۰۰)
روز ۹	۰/۰۱۷۶ ^a	۳۴/۵ ^a	۳۰/۲ ^a	۱/۲۶ ^a	۲۳۴/۳ ^{ab}	۱۰۰ ^a	۴/۶۶ ^b
	(۰/۰۰۳)	(۵/۴۸)	(۲/۲۰)	(۰/۰۰۹۶)	(۷۰/۴۹)	(۰/۰۰)	(۰/۵۷)
روز ۱۲	۰/۰۱۰۹۶ ^b	۲۱/۵ ^b	۲۲ ^b	۰/۹۹ ^{bc}	۴۲۱/۴ ^a	۷۵ ^a	۲/۶۶ ^c
	(۰/۰۰۰۴)	(۰/۸۷)	(۱/۱۵)	(۰/۰۰۷)	(۸۴/۹۸)	(۰/۰۰)	(۱/۱۵)
روز ۱۵	۰/۰۱۰۹۶ ^b	۲۱ ^b	۱۷/۷ ^b	۱/۱۳ ^{ab}	-	-	-
	(۰/۰۰۰۵)	(۱/۱۵)	(۰/۸۸)	(۰/۰۰۹)	-	-	-
روز ۱۸	۰/۰۱۱۲ ^b	۲۲ ^b	۱۶/۷ ^c	۱ ^{bc}	-	-	-
	(۰/۰۰۰۲)	(۰/۵۸)	(۰/۲/۲)	(۰/۰۵۲)	-	-	-

* حروف انگلیسی مشابه در هر ستون، بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌داری آماری است.

جدول (۶): مقایسه میانگین (±خطای معیار)* صفات فیزیولوژیکی نهال‌های استبرق تحت تأثیر تنش آبی دوره‌ای

دوره‌های تنش آبی	پتانسیل آبی (MPa)	کلروفیل (SPAD)	فتوستنتز (molm ^{-2s-1} μ)	هدایت روزنه‌ای (mmol ^{-2s-1})	تعرق (mmol ^{-2s-1})	دمای سطح برگ (°C)
روز ۳	۱/۳۵ ^d	۶۶/۷۶ ^a	۵/۶۶ ^a	۶۰ ^a	۰/۲۱ ^a	۲۶/۴۳ ^a
	(۰/۰۲۸)	(۵/۳۹)	(۰/۵۰۴)	(۱۷/۳)	(۰/۰۸)	(۰/۰۳)
روز ۶	۱/۷۱ ^c	۴۹/۸۳ ^b	۲/۶ ^b	۱۶/۶۶ ^b	۰/۱۸۳ ^a	۲۶/۳۳ ^b
	(۰/۰۴۴)	(۳/۰۸)	(۰/۱)	(۶/۶)	(۰/۰۶۹)	(۰/۰۳)
روز ۹	۲ ^b	۴۶/۱ ^b	۲/۱ ^b	۱۳/۱۳ ^b	۰/۱۳۶ ^{ab}	۲۶/۳۳ ^b
	(۰/۰۵۷)	(۱/۵۳)	(۰/۳۷)	(۳/۳)	(۰/۰۵۱)	(۰/۰۳)
روز ۱۲	۲/۴۳ ^a	۴۵/۳ ^b	۱/۷۶ ^b	۱۰ ^b	۰/۱۱۶ ^{ab}	۲۶/۱۶ ^b
	(۰/۰۸۸)	(۷/۶۵)	(۰/۱۷)	(۰/۰۰)	(۰/۰۰۸)	(۰/۰۳)

* حروف انگلیسی مشابه در هر ستون، بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌داری آماری است.

نتایج با یافته‌های ایبراهیم (۲۰۱۳) و بوترا (۲۰۱۰) روی گونه استبرق مشابهت دارد. در صورت عدم تأمین آب مورد نیاز گیاه، فشار آماس سلول‌های در حال رشد، کاهش یافته و کاهش طول سلول‌ها نیز موجب کم شدن رویش ارتفاعی نهال‌ها می‌گردد. یکی از راهکارهای مواجهه گیاهان با تنش، کاهش سطح و تعداد برگ است که در شروع تنش آبی از رشد سلولی ممانعت و در نهایت منتج به کاهش توسعه برگ می‌شود (فیتز و های^۱، ۲۰۱۳). با وجود افزایش نسبت زی‌توده ریشه به اندام هوایی در شرایط تنش خشکی، ولی زی‌توده ریشه، تحت تنش خشکی کاهش می‌یابد (بلوم^۲، ۲۰۱۱).

سطح، حجم و طول ریشه نهال‌های استبرق با افزایش دوره آبیاری، روند افزایشی را تا سطح متوسط تنش آبی نشان داد. پس از آن، روند نزولی سوق پیدا کرد که با نتایج گلدانی^۳ (۱۳۸۹) روی کنجد (*Sesamum indicum* L.)، بابایی و همکاران (۱۳۸۹) روی آویشن (*Thymus vulgaris* L.) همخوانی دارد. به طوری که افزایش تنش آبی باعث کاهش درصد زنده‌مانی و حتی از بین رفتن نهال‌های استبرق در سطوح شدیدتر تنش آبی شد.

پارامترهای تبادلات گازی از جمله فتوستتزر، هدایت روزنه‌ای، تعرق، دمای سطح برگ، کلروفیل و پتانسیل آبی نهال‌های استبرق به شدت تحت تنش آبی واقع شدند. در حالی که تزارا و همکاران (۲۰۱۰) با بررسی روی استبرق در شرایط رویشگاهی آفت پتانسیل آبی، فتوستتزر و هدایت روزنه‌ای را مشاهده کردند. گفتنی است که از مکانیسم‌های سازگاری گیاهان در مقابل تنش خشکی، بسته شدن روزنه‌هاست؛ چنانچه این روند مدت زمان بیشتری به طول بینجامد، می‌تواند باعث تخریب کلروپلاست و افزایش دمای سطح برگ گردد (فیتز و های، ۲۰۱۳). محققان دلیل کاهش فتوستتزر در شرایط تنش را به کاهش فعالیت کلروپلاست مرتبط می‌دانند. برخی دیگر نیز بسته شدن روزنه‌ها و صدمه به چرخه کالوین را عامل اصلی کاهش فتوستتزر در شرایط تنش

چنان‌که ملاحظه می‌شود، اغلب صفات ریختی و فیزیولوژیکی نهال‌های استبرق تحت تیمار سطوح مختلف آبیاری، با افزایش طول دوره آبیاری، روند کاهش را نشان دادند.

همان‌طور که در جداول مزبور نشان داده شده است، بیشترین وزن تر و خشک ساقه و ریشه در تنش آبی ۳ روز در نهال‌ها مشاهده شد. بیشترین میزان طول ریشه، نسبت ریشه به ساقه، سطح ریشه، حجم ریشه و تراکم طول ریشه به تنش آبی ۹ روز اختصاص داشت. مقدار بالای سطح ویژه برگ نیز، به تنش آبی ۱۲ روز تعلق داشت. حداکثر ارتفاع نهال، قطر یقه و تعداد برگ، در تنش آبی سه روز مشاهده شد.

میزان زنده‌مانی به ترتیب در سطح آبیاری سه، شش و نه روز، ۱۰۰٪، ۱۲٪، ۷۵٪، ۱۵٪ و ۱۸٪ روز نیز صفر درصد مشاهده شد. در ارتباط با صفات فیزیولوژیکی، مقدار پتانسیل آبی برگ در تنش خشکی سه، شش، نه و ۱۲ روز به ترتیب ۱/۳۵-، ۱/۷۱-، ۲- و ۲/۴۳- مگاپاسکال بود. به طوری که در دوره آبیاری‌های ۱۵ و ۱۸ روز نهال‌ها خشک و از بین رفتند. بیشترین میزان کلروفیل، به ترتیب در دوره آبیاری سه، شش، نه و ۱۲ روز مشاهده شد. به تبع آن نیز نرخ فتوستتزر، هدایت روزنه‌ای و تعرق با افزایش دور آبیاری کاهش نشان دادند در حالی که دمای سطح برگ میزان فزاینده‌ای را با دور آبیاری بالاتر آشکار ساخت.

بحث

این تحقیق نشان داد که ویژگی‌های ریختی و فیزیولوژیکی نهال‌های استبرق به طور معنی‌داری تحت تأثیر تنش آبی دوره‌ای قرار گرفتند. به طوری که در شدت بیشتر تنش، کاهش معنی‌داری در اغلب صفات ریختی و فیزیولوژیکی نهال استبرق نسبت به دوره آبیاری سه روزه دیده شد. همچنین این کاهش در اغلب موارد روند نزولی را نشان داد.

تنش آبی، کاهش معنی‌داری بر وزن تر و خشک ساقه و ریشه، طول ریشه، نسبت طول ریشه به ساقه، تعداد برگ، سطح ویژه برگ و ارتفاع نهال‌های استبرق نشان داد. به طوری که با تشدید تنش، بر مقدار این کاهش افزوده شد. این

1. Fitter and Hay
2. Blum
3. Goldani

از زنده‌مانی ۱۰۰ درصدی پس از ۶ ماه، می‌توان برای آبیاری این گونه در فضای سبز و جنگل‌کاری‌ها مورد توجه قرار گیرد. بنابراین اگرچه برخی دیگر از متغیرهای مورد بررسی در تیمار آبیاری ۳ روز وضعیت کمی بهتر را نشان داد، دوره آبیاری ۹ روزه می‌تواند صرفه اقتصادی ۳ برابر را در یک دوره شش‌ماهه به همراه داشته باشد. بنابراین یکی از مهم‌ترین دستاوردهای این تحقیق را می‌توان آگاهی و شناخت از نیاز آبی گونه استبرق و عکس‌العمل آن در شرایط مختلف تنش آبی در دوره طولانی مدت دانست؛ گونه‌ای که استفاده‌های فراوانی در بخش صنعت منسوجات، صنایع دفاعی، تولیدات دارویی و حتی در منابع طبیعی جهت جلوگیری از فرسایش بادی و آبی دارد.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله نویسندگان از همکاری مسئولان محترم آزمایشگاه تکنولوژی مرتع، گلخانه تحقیقاتی دانشکده منابع طبیعی تربیت مدرس، کارشناسان مرکز رشد سازمان تحقیقات و جهاد خودکفایی ندسا، مرکز تحقیقات منابع طبیعی بوشهر و سایر کسانی که در پیشبرد این تحقیق دخیل بودند، نهایت سپاسگزاری و قدردانی را دارند.

خشکی گزارش کرده‌اند (مارتین و رویز-تورس^۱، ۱۹۹۲). گیاهان زمانی که تحت تنش خشکی قرار می‌گیرند، تمایل به کاهش پتانسیل آبی را نشان می‌دهند. در حقیقت خشکی ناشی از کاهش پتانسیل آب موجود در خاک، سبب کاهش در سیستم جذب ریشه‌ای، تعرق، هدایت روزنه‌ای و فتوسنتز می‌گردد (لویت^۲، ۱۹۸۰) که در تحقیق حاضر نتایج مشابهی مشاهده شد.

نتیجه‌گیری نهایی

بنا بر نتایج حاصل، تنش آبی اثر معنی‌داری بر پاسخ ریختی و فیزیولوژی نهال‌های استبرق داشت. با افزایش تنش آبی در قالب دوره‌های مختلف آبیاری، اغلب صفات رویشی روند کاهش را نشان دادند و به‌طور تقریب در سطح تنش آبی دوره‌های ۹ روزه، عملکرد مطلوب‌تری را در مدت شش ماه مشاهده شد. در نهایت می‌توان اظهار داشت در شرایط مورد مطالعه، نهال استبرق از نقطه نظر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژی پاسخ نسبتاً خوبی به دور آبیاری سه تا نه روز نشان داده است. از آنجایی که دوره آبیاری ۹ روزه، در مورد برخی از پارامترهای مورد بررسی نظیر سطح ریشه، طول ریشه، نسبت ریشه به ساقه، حجم ریشه، تراکم طول ریشه، ارتفاع نهال بیشترین مقادیر را نسبت به سایر تیمارها داشته و نیز به دلیل برخورداری

منابع

- Alcamo, J., Henrichs, T., Rösch, T., 2000. World water in 2025. Global modeling and scenario analysis for the world commission on water for the 21st century. Center for Environmental Systems Research, University of Kassel., Germany, 49 pp.
- Alpert, P., 2000. The discovery, scope, and puzzle of desiccation tolerance in plants. *Plant Ecology*. 151(1), 5–17.
- Babae, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S.A.M., Jabbari, R., 2010. Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*. 26(2), 239–251.
- Blum, A., 2011. *Plant breeding for water-limited environments*. Springer New York Dordrecht Heidelberg. London, 249 pp.
- Bohm, W., 1979. *Methods of studying root systems*. Ecological Studies, SpringerVerlag., Berlin, 188 pp.
- Boutraa, T., 2010. Effects of water stress on root growth, water use efficiency, leaf area and chlorophyll content in the desert shrub *Calotropis procera*. *J. Int. Environmental Application & Science*. 5(1), 124–132.

1. Martin and Ruiz-Torres
2. Levitt

7. Fitter, A.H., Hay, R.K., 2012. Environmental physiology of plants. Academic press.
8. Goldani, M., 2011. Effect of irrigation intervals on some morphophysiological traits of sesame (*Sesamum indicum* L.) ecotypes. *Journal of Agroecology*. 3(4), 658–666.
9. Gutterman, Y., 1995. Seed germination of desert plants, adaptations of desert organisms. Springer., Berlin, 256 pp.
10. Ibrahim, A.H., 2013. Tolerance and avoidance responses to salinity and water stresses in *Calotropis procera* and *Suaeda aegyptiaca*. *Turkish Journal of Agriculture & Forestry*. 37(3), 352–360.
11. Jinying, L., Min, L., Yongmin, M., Lianying, S., 2007. Effects of vesicular arbuscular mycorrhizal on the drought resistance of wild jujube (*Ziziphus spinosus* Hu) seedlings. *Frontiers of Agriculture, China*. 1(4), 468–471.
12. Khaef, N., Enjavie Mosavie, F., Alsadat Badihie, R., 2013. The effects of salt stress on germination of *Calotropis procera* L. seeds. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 6(1), 91–95.
13. Khalafallah, A.A., Abo-Ghalia, H.H., 2008. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on the metabolic products and activity of antioxidant system in wheat plants subjected to short-term water stress, followed by recovery at different growth stages. *Journal of Applied Sciences Research*. 4(5), 559–569.
14. Khan, M.A., Beena, N., 2002. Seasonal variation in water relations of desert shrubs from Karachi, Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*. 34(4), 329–340.
15. Levitt, J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. Volume II. Water, radiation, salt, and other stresses (No. Ed. 2). Academic Press., New York, 607 pp.
16. Martin, B., Ruiz-Torres, N.A., 1992. Effects of water-deficit stress on photosynthesis, its components and component limitations, and on water use efficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Physiology*. 100(2), 733–739.
17. Newman, E.I., 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *Journal of applied ecology*. 3, 139–145.
18. Pessaraki, M., 1999. Handbook of Plant and Crop Stress. University of Arizona, Tucson, Arizona., New York, 1185 pp.
19. Rad, M.H., Mirhossini- Dehabadi, S.R., Meshkat, M.A., 2008. Effect of water stress on some physiological characteristics of *Haloxylon aphyllum*. *Iranian Journal of Rangelands and Forests Plant Breeding and Genetic Research*. 16(1), 75–93.
20. Shobowale, O.O., Ogbulie, N.J., Itoandon, E.E., Oresegun, M.O., Olatope, S.O.A., 2013. Phytochemical and Antimicrobial Evaluation of Aqueous and Organic Extracts of *Calotropis procera* Ait Leaf and Latex. *Nigerian Food Journal*. 31(1), 77–82.
21. Taghvaei, M., Khaef, N., Sadeghi, H., 2012. The effects of salt stress and prime on germination improvement and seedling growth of *Calotropis procera* L. seeds. *Journal of Ecology and Field Biology*. 35(2), 73–78.
22. Taiz, L., Zeiger, E., 2010. Plant physiology. Sinauer Associates, Sunderland., MA, 690 pp.
23. Tezara, W., Colombo, R., Coronel, I., Marin, O., 2010. Water relations and photosynthetic capacity of two species of *Calotropis* in a tropical semi-arid ecosystem. *Annals of botany*. 107, 397–405.
24. Wu, F., Bao, W., Li, F., 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(1), 248–255.

25. Wullschleger, S.D., Tschaplinski, T.J., Norby, R.J., 2002. Plant water relations at elevated CO₂—implications for water-limited environments. *Plant, Cell & Environment*. 25(2), 319–331.