پاسخ نهال کازوآرینا (*Casuarina equisetifolia* Blancon.) به تنش غرقابی- شوری

صغری عزیزی[۱]، مسعود طبری کوچک‌سرایی[۲*] و سید احسان ساداتی[۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
[۲] استادگروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس
[۳] استادیار جنگلداری، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی مازندران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۴/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۱۱)

چکیده

در این تحقیق برخی صفات نهال کازوآرینا در ارتباط با تنش غرقابی- شوری شامل سطوح ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl و شاهد (بدون غرقاب و شوری) در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌مدت ۱۲۰ روز در محیط گلخانه بررسی شد. نتایج نشان داد میزان زنده‌مانی در کلیهٔ سطوح تیمار، ۱۰۰ درصد و در سطح غرقابی ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl، ۳۳/۳ درصد بود. رویش ارتفاعی و قطری در سطوح مختلف غرقابی- شوری و نیز با افزایش شوری کاهش یافت. ترکیب تنش شوری و غرقابی سبب کاهش زی‌تودهٔ خشک کل نهال شد. تنش غرقابی توأم با شوری سبب ایجاد ریشه‌های نابجا در همهٔ سطوح غرقابی شد، اما با افزایش سطح شوری از تعداد و مقدار زی‌تودهٔ ریشه‌های نابجا کاسته شد. مقدار زی‌تودهٔ ریشهٔ نابجا در سطوح غرقابی با آب شیرین، و غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl به ترتیب ۶ و ۳ برابر زی‌توده ریشه اصلی بود. بر اساس مشاهدات، حدود یک هفته پس از اعمال تنش در تمام سطوح غرقابی، منافذ هایپرتروفی بر روی قسمتی از ساقهٔ نهال که در آب غرقاب بود شکل گرفت. به‌طور کلی، این تحقیق مشخص کرد در مدت تحت بررسی، در شرایط غرقابی، با افزایش شوری رویش نهال کازوآرینا و مقدار بیوماس اندام‌های آن کاهش یافت؛ این در حالی است که زنده‌مانی تا شرایط ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl هیچ گونه کاهشی نشان نداد و در غلظت‌های شوری کمتر از آن، همواره ۱۰۰ درصد بود. نظر به ایجاد ریشه‌های نابجای متعدد و منافذ هایپرتروفی که مبین راهکارهای مقاومت نهال کازوآرینا به شرایط غرقابی است، ادامهٔ چنین تحقیقی در فصول رویش بعدی می‌تواند مقاومت دقیق‌تر آن را در شرایط غرقابی- شوری آشکارتر کند.

واژه‌های کلیدی: تنش غرقابی- شوری، رویش قطری، ریشه نابجا، زی‌تودهٔ کل، کازوارینا.

[*] نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۱۲۲۴۶۲۵۰ ایمیل: mtabari@modares.ac.ir

مقدمه و هدف

جنگل‌های مناطق باتلاقی و تالاب‌ها و حاشیهٔ رودخانه‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های طبیعی در جهان (Conner *et al.*, 1981؛ Dahl, 1990) به‌علت افزایش دمای کره زمین در معرض تنش‌های ترکیبی شوری و غرقابی قرار دارند. افزایش میانگین دمای جهانی سبب ذوب برف‌ها، یخ‌ها و در نتیجه بالا آمدن سطح آب دریاها شده است که اراضی اطراف خود را با آب شور غرقاب می‌کند (IPCC, 2007). از طرف دیگر، در مناطق ساحلی، غرقابی با آب شور ممکن است‌در اثر توفان‌ها نیز روی دهد (Albrigo *et al.*, 2005) و شوری از دریا به سمت ساحل نفوذ کند (Bianchette *et al.*, 2009). در اراضی با آب‌وهوای خشک و نیمه خشک، ماندابی شدن خاک اغلب سبب شوری خاک نیز خواهد شد. بنابراین، شوری و غرقابی دو تنش غیرزیستی هستند که ترکیب آنها تأثیر بسیار مهمی بر رشد و توسعهٔ گیاهان به‌ویژه در مناطق باتلاقی دارد. از این‌رو، در مناطق ساحلی، مانداب‌ها، باتلاق‌ها، مرداب‌ها و حاشیهٔ رودخانه‌ها رشد گیاهان به‌دلیل وجود عوامل غیرزیستی مانند غرقابی با آب شور یا غیر شور تحت تأثیر قرار می‌گیرد و سبب ایجاد نگرانی‌هایی در کاهش پوشش گیاهی می‌شود (Allen *et al.*, 1996).

به‌منظور احیای این مناطق، استفاده از پوشش گیاهی مناسب اجتناب‌ناپذیر است، طوری که شناخت و معرفی گونه‌های سازگار و مقاوم برای احیا و توسعهٔ این مناطق ضروری به‌نظر می‌رسد (Francis *et al.*, 2005; Osava *et al.*, 2011). ترکیب غرقابی و شوری به کاهش رشد، زنده‌مانی، فتوسنتز، تعرق و همچنین کاهش انتقال کربوهیدرات‌ها و افزایش پیری برگ منجر می‌شود (Kozlowski *et al.*, 1997; Barrett-Lennard, 2003; Wang and Jiang, 2007; Gimeno *et al.*, 2012) که شدت این تأثیرات در گونه‌های مختلف متفاوت است. تأثیرات منفی غرقابی با آب شور بر رشد گیاه شدیدتر از غرقابی با آب شیرین است، زیرا غرقابی با آب شور سبب افزایش سریع انتقال Cl^- و Na^+ به ساقه (Craig *et al.*, 1990) و کاهش رشد آن می‌شود (Barrett-Lennard, 2003; Carter *et al.*, 2006). گونه‌های مقاوم به شرایط غرقابی توأم با شوری، از طریق تغییرات مورفولوژی و فیزیولوژی، پاسخ‌های سازگار به غرقابی و شوری مانند تشکیل آئرانشیم، تولید ریشه‌های نابجا، تنظیم جذب یون (Carter *et al.*, 2006)، بازشدن مجدد روزنه‌ها و بهبود سریع هدایت روزنه‌ای برگ بعد از غرقابی پاسخ می‌دهند (Li *et al.*, 2004).

در خارج از کشور تحقیقات چندی در زمینه تنش ترکیبی غرقابی– شوری در گونه‌های مختلف جنگلی انجام گرفته است. Krauss *et al.* (1999) نهال‌های *Taxodium distichum* را در یک دورهٔ ۶۲ روزه در معرض غرقابی با صفر تا ۶ گرم بر لیتر (~۱۰۰ میلی‌مولار) NaCl تا ۵ سانتی‌متر بالای سطح خاک قرار دادند و دریافتند که با افزایش شوری رویش قطری و ارتفاعی کاهش یافت، به‌طوری که این شاخص‌ها در تیمار شاهد به‌ترتیب ۷ و ۵ برابر تیمار غرقابی با ۶ گرم بر لیتر NaCl بود. Carter *et al.* (2006) گزارش کردند که زنده‌مانی نهال‌های *Casuarina obese* تحت تنش غرقابی با ۰/۰۱، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار NaCl به‌مدت ۲۲ روز، ۱۰۰ درصد بود. Gimeno *et al.* (2012) نشان دادند که اعمال تنش غرقابی با سطوح شوری ۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ میلی‌مولار NaCl تا ۴ سانتی‌متر بالای سطح خاک بر روی گونهٔ *Jatropha curcas* به مدت ۱۰ روز سبب کاهش زی‌تودهٔ ساقه، ریشه و برگ شد.

از مهم‌ترین گونه‌هایی که توانایی استقرار در مناطق شور و غرقاب را دارند می‌توان به درخت کازوآرینا *Casuarina equisetifolia* اشاره کرد که اگرچه ظاهری شبیه سوزنی‌برگان دارد جزء گونه‌های پهن‌برگ محسوب می‌شود (Pinyopusarerk and House, 1993). این درخت

بومی استرالیا و جزایر اقیانوس آرام است و در خاک‌های شور ساحل یا نزدیک آب‌های شور، دریاچه‌های نمک و تالاب‌ها با آب‌وهوای گرم و خشک رویش دارد (El-Lakany and Luard, 1982). کازوارینا یک گونهٔ تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن با پراکنش اکولوژیکی گسترده است که به حاصلخیزی خاک و تولید چوب سوخت با کیفیت کمک می کند و در سیستم‌های بیشهٔ زراعی، در محافظت و احیای سواحل و نیز به‌عنوان بادشکن استفاده می‌شود (Pinyopusarerk and House, 1993; Srivastava and Ambash, 1994; Zhang *et al.*, 2009). این درخت، از سالیان گذشته به ایران وارد شده و در سواحل دریای مازندران دیده می‌شود که به‌صورت طبیعی تجدید حیات می‌کند (ثابتی، ۱۳۸۴). مطابق مشاهدات در مناطق گرمسیری جنوب کشور نیز این گونه موفق نشان داده است. البته، شایان ذکر است که در مورد مقاومت نهال کازوآرینا به غلظت‌های مختلف نمک، پژوهشی توسط Ng (1987) منتشر شده است که اپتیمم رشد آن در خاک‌های با شوری ۱۰۰-۵۰ میلی‌مولار NaCl بین تا ۵ تا ۱۰ دسی‌زیمنس بر مترگزارش شد.

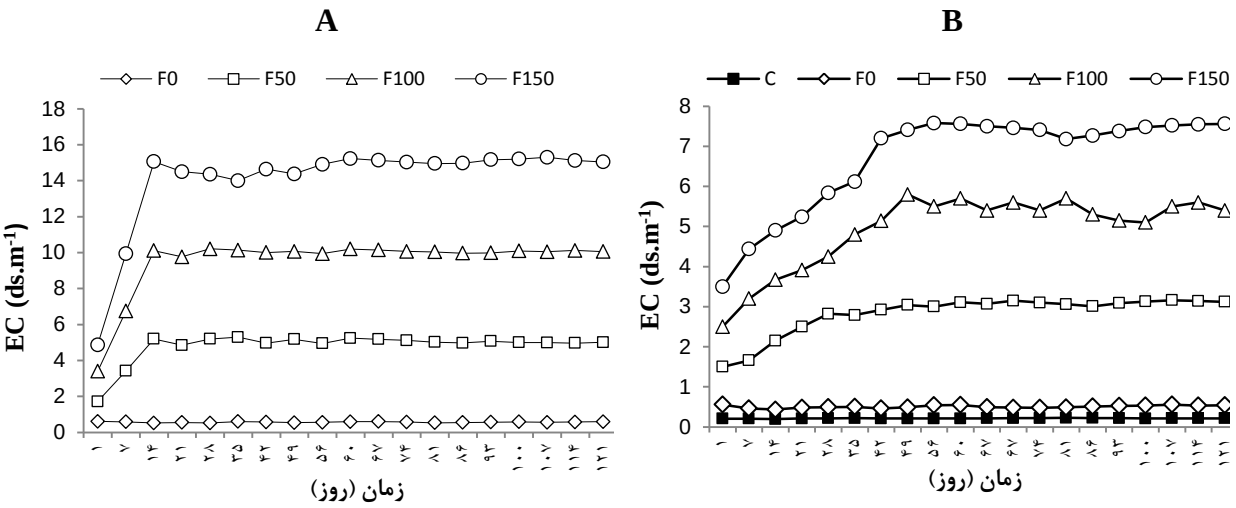
با علم به اینکه تاکنون در داخل کشور در زمینهٔ پاسخ نهال گونه‌های درختی و درختچه‌ای و حتی کازوآرینا به تنش ترکیبی غرقابی- شوری هیچ گزارشی منتشر نشده است و با توجه به اهمیت و ارزش اکولوژیکی گونهٔ کازوآرینا، بررسی چگونگی پاسخ نهال و تعیین مقاومت آن به این تنش به‌منظور توسعهٔ کاشت و احیا در مناطق تحت تنش اجتناب‌ناپذیر است. به‌همین منظور، این تحقیق در صدد یافتن چگونگی پاسخ زنده‌مانی، رشد و صفات رویشی نهال‌های کازوآرینا تحت تنش غرقابی با سطوح مختلف شوری در یک آزمایش گلخانه‌ای است.

مواد و روش‌ها

برای انجام دادن تحقیق حاضر، نهال‌های بازکاشتی گلدانی کازوآرینا در قالب طرح کاملاً تصادفی در پنج تیمار و سه تکرار (۳ نهال در هر تکرار) آزمایش شدند. خاک مورد استفاده در گلدان‌های بدون منفذ (با ابعاد ۲۴ × ۲۳ سانتی‌متر) دارای بافت لومی-شنی بود. ابتدا ۴۵ پایه از بهترین و همسان‌ترین نهال‌ها با میانگین قطر ۳/۷ میلی‌متر و میانگین ارتفاع ۶۳/۳ سانتی‌متر انتخاب شد. سپس نهال‌ها در شرایط گلخانه‌ای با میانگین دمای حداقل و حداکثر محیط به‌ترتیب۲۰/۲ و ۳۶/۲ درجهٔ‌سانتی‌گراد و متوسط رطوبت ۴۸ درصد تحت تیمار قرار گرفتند. تیمارهای استفاده شده در پنج سطح شامل: شاهد (بدون غرقاب و بدون شوری)، غرقابی با آب شیرین (غرقابی بدون شوری)، غرقابی با شوری ۵۰ میلی مولار (۵ دسی‌زیمنس بر متر)، غرقابی با شوری ۱۰۰ میلی مولار (۱۰ دسی‌زیمنس بر متر) و غرقابی با شوری ۱۵۰ میلی‌مولار (۱۵ دسی‌زیمنس بر متر) طی یک دورهٔ ۱۲۰ روزه (اوایل مرداد تا اوایل آذر) انجام گرفت. برای اعمال تنش شوری از نمک NaCl استفاده شد و سطح غرقابی ۴ سانتی‌متر بود.

برای اعمال هر یک از سطوح غرقابی، حوضچه‌هایی با استفاده از بلوک ساخته و سطوح داخلی آنها با پلاستیک پوشانده شد. سپس نهال‌های گلدانی در آن قرار داده شد و سطح آب حوضچه‌ها تا ۴ سانتی‌متر بالای خاک گلدان حفظ شد. برای جلوگیری از شوک ناگهانی به نهال‌ها، محلول نمک به طور تدریجی افزوده شد. یعنی برای سطح ۵۰ میلی‌مولار، روز اول تنش ۱۷ میلی‌مولار اعمال شد، سپس روز هفتم ۱۷ میلی‌مولار دیگر افزوده شد تا به ۳۴ میلی‌مولار رسید و روز چهاردهم با افزودن ۱۶ میلی‌مولار دیگر، به ۵۰ میلی‌مولار رسید. سطوح ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار نیز به‌ترتیب به سه غلظت ۳۴ و ۵۰ میلی‌مولاری تقسیم شدند که در روزهای اول، هفتم و چهاردهم این سه غلظت اضافه شدند (Pezeshki, 2001). در صورت کاهش آب در اثر تبخیر و تعرق، از طریق اضافه کردن آب در دفعات مختلف، شرایط غرقابی (چه با آب شیرین و چه با

غلظت‌های مختلف نمک)، حفظ شد. در آب‌دهی برای تیمار شاهد سعی شد رطوبت خاک از ظرفیت زراعی تجاوز نکند و برای این‌کار گلدان‌ها هر دو روز حدود یک لیتر آبیاری می‌شدند. به‌منظور شناخت روند تغییرات شوری آب و خاک، EC آب حوضچه‌ها (شکل ۱- A) و نیز خاک گلدان‌ها (شکل ۱- B) هفته‌ای یک بار آزمایش شد تا شوری مطابق مقدار در نظر گرفته‌شده برای هر تیمار تنظیم شود.



شکل ۱- تغییرات EC (هدایت الکتریکی) آب (A) و خاک (B) در تیمارهای C (شاهد)، F0 (غرقابی با صفر میلی‌مولار NaCl)، F50 (غرقابی با ۵۰ میلی‌مولار NaCl)، F100 (غرقابی با ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) و F150 (غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl)

اندازه‌گیری‌شاخص‌ها

درصد زنده‌مانی نهال‌ها در پایان دورهٔ آزمایش ثبت شد برای این منظور، شمارش نهال‌ها در هر ماه و نیز در پایان دوره (انتهای ماه چهارم) ثبت شد و بدین صورت عمل شد که نسبت تعداد نهال‌های باقی‌مانده در پایان آزمایش (S) به تعداد نهال‌های اولیه در زمان شروع آزمایش در هر تیمار (n) به‌عنوان درصد زنده‌مانی(SP) منظور شد و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت (ساداتی و همکاران، ۱۳۹۰) (رابطهٔ ۱).

$$SP = \frac{S}{n} \times ۱۰۰$$ رابطهٔ ۱

شاخص‌های مورفولوژیک مانند ارتفاع و قطر (در ۵ سانتی‌متر بالای سطح خاک) در ابتدا و انتهای دوره اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری قطر با استفاده از کولیس دیجیتالی انجام گرفت. در پایان آزمایش، از هر تکرار یک نهال از خاک خارج شد و پس از شست‌وشوی خاک اطراف ریشه و شمارش تعداد ریشه‌های نابجا، هر یک از نهال‌ها به سه قسمت ریشه، ساقه و برگ تقسیم و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شد (Yin *et al.*, 2009)، پس از آن توزین با ترازوی دیجیتالی (دقت ۰/۰۰۰۱ گرم) صورت گرفت. سپس زی‌تودهٔ کل، زی‌تودهٔ ریشه، زی‌تودهٔ ساقه و زی‌تودهٔ برگ تعیین شد. زمان تشکیل ریشه‌های نابجا و منافذ هایپرتروفی روی ساقه نیز ثبت شد.

آنالیز آماری

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ و طراحی نمودارها با نرم‌افزار Excel انجام گرفت. برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-

اسمیرنوف و برای همگنی واریانس از آزمون لون استفاده شد. در صورت نرمال بودن داده‌ها از آزمون تجزیهٔ واریانس و برای مقایسهٔ میانگین‌ها از آزمون دانکن استفاده شد.

نتایج

نتایج آزمون تجزیهٔ واریانس (one-way ANOVA) نشان داد که بین سطوح مختلف تیمارها در تمام متغیرهای اندازه‌گیری‌شده، اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول ۱).

جدول ۱- تجزیه واریانس یک‌طرفه (one-way ANOVA) صفات اندازه‌گیری‌شدهٔ نهال *Casuarina equisetifolia* در سطوح مختلف غرقابی-شوری

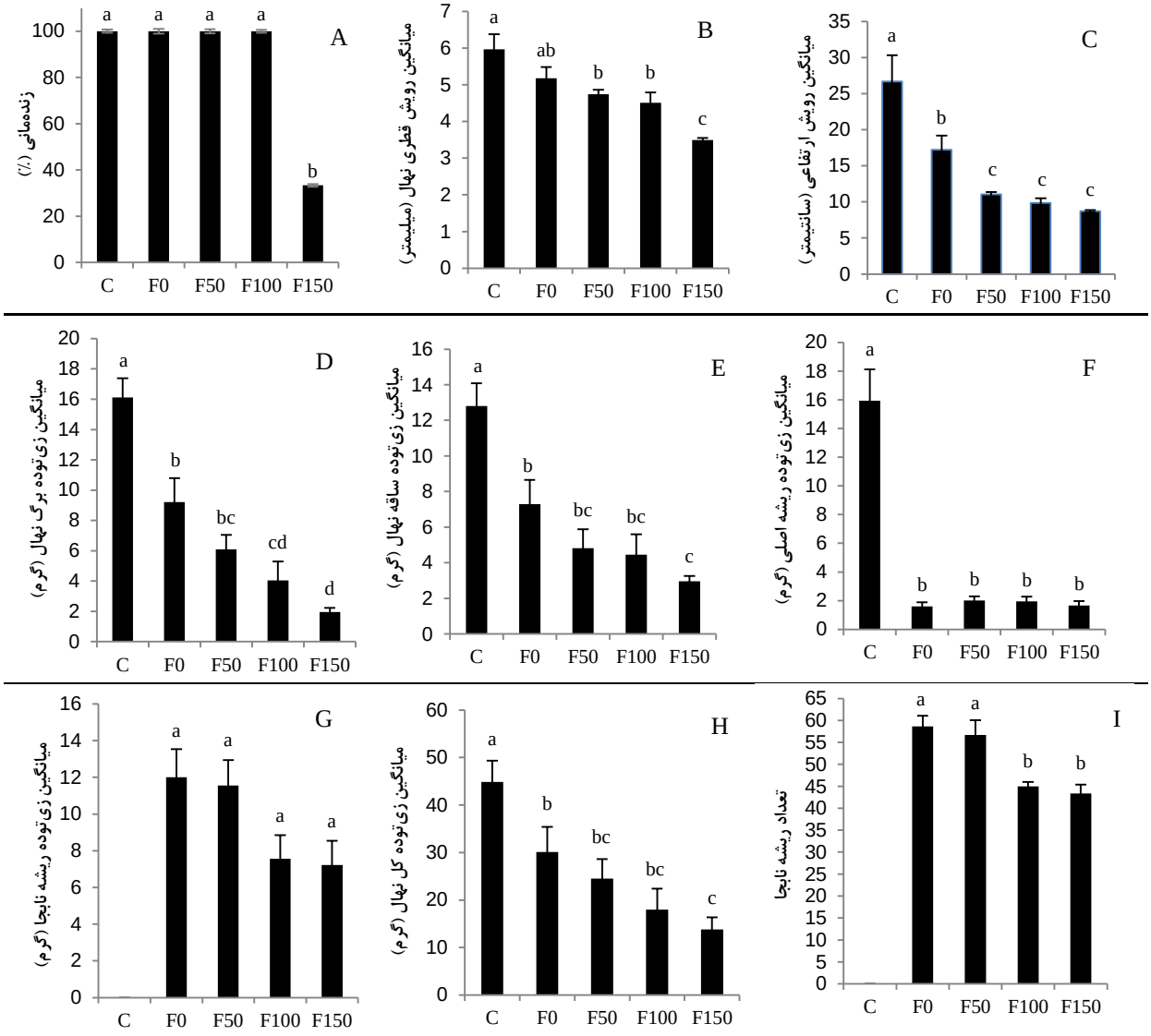
صفات	SS	d.f.	MS	P-value	F-value
زنده‌مانی	۱۰۲۵۴/۷۲۳	۴	۲۵۶۳/۶۸۱	۰/۰۰۰*	۱۳۲۱/۴
رویش ارتفاعی(سانتی‌متر)	۶۶۹/۵۴۴	۴	۱۶۷/۳۸۶	۰/۰۰۰*	۱۵/۷۷
رویش قطری(میلی‌متر)	۹/۹۰۴	۴	۲/۴۷۶	۰/۰۰۱*	۱۱/۴۸
زی‌تودهٔ خشک برگ (گرم)	۳۶۵/۱۹۶	۴	۹۱/۲۹۹	۰/۰۰۰*	۲۲/۴۰
زی‌تودهٔ خشک ساقه (گرم)	۱۷۹/۶۵۷	۴	۴۴/۹۱۴	۰/۰۰۱*	۱۲/۳۸
زی‌تودهٔ خشک ریشهٔ اصلی (گرم)	۴۷۹/۰۳۷	۴	۱۱۹/۷۵۹	۰/۰۰۰*	۳۸/۷۴
زی‌تودهٔ خشک ریشهٔ نابجا (گرم)	۲۷۹/۰۱۸	۴	۶۹/۷۵۴	۰/۰۱۵*	۵/۳۳
زی‌تودهٔ خشک کل (گرم)	۱۷۶۰/۱۳۷	۴	۴۴۰/۰۳۴	۰/۰۰۴*	۸/۰۸
تعداد ریشهٔ نابجا	۶۷۷۸/۹۳۳	۴	۱۶۹۴/۷۳۳	۰/۰۰۰*	۱۲۶/۴۷۳

در پایان دورهٔ آزمایش زنده‌مانی نهال‌ها در تمامی سطوح تیمار ، ۱۰۰ درصد بود، به‌جز تیمار غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl که زنده‌مانی آن ۳۳/۳ درصد بود (شکل ۲- A). تنش غرقابی سبب کاهش رویش قطری نهال‌های کازوآرینا شد (شکل ۲-B)؛ به‌طورکلی، مقدار رویش قطری در سطح شاهد بیشتر از سطوح دیگر بود و با افزایش سطح شوری رویش قطری کاهش یافت، هر چند که در بین سطح شاهد و سطح غرقابی با آب شیرین اختلاف معنی‌داری وجود نداشت. مقدار رویش ارتفاعی بیشتر از رویش قطری تحت تأثیر تیمارها قرار گرفت (شکل ۲- C)، به‌طوری که در سطح شاهد بیش از سه برابر سطح غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار بود، ولی بین سطوح غرقابی با ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl تفاوتی وجود نداشت.

تنش غرقابی- شوری سبب کاهش زی‌تودهٔ خشک کل (که حاصل جمع بیوماس برگ (شکل ۲- D)، ساقه (شکل ۲- E)، ریشهٔ اصلی (شکل ۲- F) و ریشه نابجا (شکل ۲- G) بود) در سطوح مختلف غرقابی نسبت به شاهد شد، که این مقدار کاهش در زی‌تودهٔ ریشهٔ اصلی (شکل ۲- F) شدیدتر بود. مقدار زی‌تودهٔ خشک کل به‌طور معنی‌داری در سطح شاهد بیشتر و در سطح غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl کمتر از سطوح دیگر بود، اما بین سطوح مختلف غرقابی با آب شور تفاوتی وجود نداشت (شکل ۲- H). زی‌تودهٔ خشک برگ (شکل ۲- D) و زی‌تودهٔ خشک ساقه (شکل ۲- E) با افزایش مقدار شوری کاهش یافت، به‌طوری که در سطح شاهد و غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl اتفاق افتاد.

از طرف دیگر، غرقابی سبب ایجاد ریشه‌های نابجا شد. بیشترین تعداد ریشه‌های نابجا در سطح غرقابی با آب شیرین مشاهده شد و ترکیب تنش شوری و غرقابی سبب کاهش تعداد ریشه‌های نابجا شد (شکل ۲-I). افزایش شوری تحت تنش غرقابی زی‌تودهٔ خشک ریشهٔ نابجا را کاهش داد طوری که سطوح غرقابی با آب شیرین و غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl به‌ترتیب بیشترین و کمترین زی‌تودهٔ ریشهٔ

نابجا را داشتند. مقدار زی‌تودهٔ ریشهٔ نابجا در سطوح غرقابی با آب شیرین و غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl به‌ترتیب شش و سه برابر بیوماس ریشهٔ اصلی بود (شکل ۲- G).



شکل ۲- مقایسهٔ میانگین زنده‌مانی (A)، رویش قطری (B)، رویش ارتفاعی (C)، زی‌تودهٔ برگ (D)، زی‌تودهٔ ساقه (E)، زی‌تودهٔ ریشهٔ اصلی (F)، زی‌تودهٔ ریشهٔ نابجا (G) زی‌تودهٔ کل نهال (H) و تعداد ریشهٔ نابجا (I) نهال‌های *Casuarina equisetifolia* در سطوح مختلف تیمار با استفاده از آزمون دانکن، تیمارهای C (شاهد)، F0 (غرقابی با صفر میلی‌مولار NaCl)، F50 (غرقابی با ۵۰ میلی‌مولار NaCl)، F100 (غرقابی با ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl) و F150 (غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl)

بحث

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که ترکیب تنش غرقابی با آب شور سبب کاهش صفات رویشی نهال‌های کازوآرینا شده است. تنش ترکیبی غرقابی- شوری اثر معنی‌داری بر رویش ارتفاعی و قطری نهال‌های کازوآرینا داشت، طوری که با افزایش شوری تحت شرایط غرقابی مقدار رویش ارتفاعی و قطری کاهش یافت که مشابه نتایج تحقیق Krauss *et al.* (1999) روی نهال‌های

Taxodium distichum است. مقدار رویش ارتفاعی در سطح شاهد حدود سه برابر سطح غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار بوده است. Van Der Moezel *et al.* (1988) نیز نشان دادند که نرخ رشد نسبی ارتفاع نهال‌های غرقاب شدهٔ *Casuarina obese* در شوری ۰/۰۱، ۲۰۰ و ۴۰۰ میلی‌مولار NaCl با افزایش سطح شوری، کاهش یافت. کاهش رویش قطری و ارتفاعی نهال‌های کازوآرینا در شرایط غرقابی بدون شوری می‌تواند به‌علت مواجه شدن نهال با شرایط بی‌هوازی خاک باشد که با نتایج تحقیق Shanklin & Kozlowski (1985) دربارهٔ گونهٔ *Taxodium distichum* مطابقت دارد. در این تحقیق، رویش قطری و ارتفاعی در محیط غرقابی- شوری نسبت به محیط آب شیرین، بیشتر کاهش یافت. در میان عواملی که سبب کاهش رشد تحت شرایط شوری می‌شوند می‌توان به کمبود آب ریشهٔ ناشی از کاهش پتانسیل اسمزی، سمی بودن یون‌های Na^+ و Cl^- و عدم تعادل تنظیم‌کننده‌های رشد اشاره کرد (Munns & Termaat, 1986).

در تحقیق پیش رو، افزایش سطح شوری تحت شرایط غرقابی سبب کاهش زی‌تودهٔ ریشهٔ اصلی، زی‌تودهٔ برگ، زی‌تودهٔ ساقه و زی‌تودهٔ کل شد. نتایج سایر تحقیقات نیز حاکی از کاهش زی‌تودهٔ برگ و زی‌تودهٔ کل (Pezeshki, 1992)، زی‌تودهٔ ساقه، زی‌تودهٔ ریشه (Gimeno *et al.*, 2012) تحت تنش شوری به‌همراه غرقابی است. گیاهانی که تحت تنش ترکیبی غرقابی- شوری رشد می‌کنند، یون‌های Na^+ و Cl^- را از طریق جریان آوند چوبی انتقال می‌دهند. به‌نظر می‌رسد بیشترین تجمع این یون‌ها در بافت ساقه باشد (Barrett-Lennard, 1999)، طوری که در شوری زیاد، غلظت زیاد یون‌های Na^+ و Cl^- در ساقه می‌تواند سبب سمی شدن و عدم تعادل یونی شود (Maathuis & Amtmann, 1999; Munns & Tester, 2008) و در نهایت به کاهش رشد و مرگ گیاه بیانجامد.

مقدار زی‌تودهٔ ریشهٔ اصلی در سطح شاهد تفاوت چشمگیری با سطوح دیگر داشت؛ زیرا بر اثر غرقابی، رشد ریشه کاهش یافت و تولید ریشه‌های جدید متوقف شد و به‌جای آنها ریشه‌های نابجا در قسمت نزدیک به منطقهٔ هوازی تشکیل شدند. تولید ریشه‌های نابجا یکی از سازگاری‌های مورفولوژیکی گیاهانی است که در شرایط غرقابی قرار دارند. زمانی که سیستم ریشه‌ای اصلی از بین رفته باشد، ریشه‌های نابجا عمل جذب آب، مواد معدنی و اکسیژن را بر عهده دارند (Cao & Conner, 1999; Kozlowski & Pallardy, 2002) و سبب سهولت انتقال اکسیژن به زیر خاک می‌شوند، به‌طوری که این ریشه‌ها، تنفس را در شرایط کمبود اکسیژن به عهده دارند (Kozlowski, 1997). ایجاد ریشه‌های نابجا تحت تنش ترکیبی غرقابی- شوری برای بسیاری از گونه‌ها مانند *Casuarina obese* و *Melaleuca cuticularis* گزارش شده است (Carter *et al.*, 2006). در داخل کشور نیز محققانی چون قنبری و همکاران (۱۳۹۰)، ساداتی و همکاران (۱۳۹۰) و پاراد و همکاران (۱۳۹۱) ایجاد ریشه‌های نابجا را به‌ترتیب در گونه‌های *Populus caspica*، *Populus delteoides* و *Fraxinus excelsior* تحت تنش غرقابی بدون شوری گزارش کرده‌اند. کازوآرینا نیز یکی از گونه‌هایی است که در شرایط غرقابی ریشه‌های نابجای زیادی تولید می‌کند (Kuo *et al.*, 1999).

در این تحقیق یک هفته پس از غرقابی، ریشه‌های نابجا به‌وجود آمدند، طوری که با افزایش سطح شوری از تعداد و مقدار زی‌تودهٔ ریشه‌های نابجا کاسته شد که این یافته‌ها با نتایج پژوهش McCarron *et al.* (1998) دربارهٔ گونهٔ *Cephalanthus occidentalis* که مختص جنگل‌های ساحلی باتلاقی است، همسو است. در واقع، تنش غرقابی به‌همراه شوری سبب سیاه شدن و از بین رفتن ریشه‌های اصلی، متوقف شدن تولید ریشه‌های جدید و تولید ریشه‌های نابجا شد طوری که نهال‌های *C. equisetifolia* در سطح غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار

NaCl دارای کمترین مقدار زی‌تودهٔ ریشهٔ نابجا بودند. تعداد و مقادیر کم زی‌تودهٔ ریشهٔ نابجا در شوری‌های بیشتر احتمالاً به‌علت تمرکز بیشتر نمک تحت شرایط غرقابی بوده است(McCarron *et al.*, 1998). تعداد کم ریشه‌های نابجا در سطوح شوری بالا می‌تواند نشان‌دهندهٔ توانایی کم گیاهان برای سازگاری با شرایط غرقابی در شوری با غلظت‌های زیاد باشد (McCarron *et al.*, 1998).

یکی دیگر از سازگاری‌های مورفولوژیکی گیاهان در پاسخ به غرقابی، تولید منافذ هایپرتروفی است که سبب تبادل گازهای محلول و آزاد کردن ترکیبات سمی تولیدشده توسط غرقابی می‌شود (Glenz *et al.*, 2006). در این آزمایش، حدود یک هفته پس از اعمال تنش، منافذ هایپرتروفی در تمام سطوح غرقابی بر روی ساقه نهال به‌وجود آمد. Kuo *et al.* (1999) نشان دادند که ایجاد منافذ هیپرتروفی بر روی ساقهٔ نهال‌های *Terminalia catappa* سبب مقاومت این گونه به غرقابی با آب‌های شیرین و شور می‌شود.

در تحقیق پیش رو، زنده‌مانی نهال‌های کازوآرینا تحت تنش ترکیبی غرقابی – شوری به‌مدت ۱۲۰ روز در همهٔ سطوح تیمار ۱۰۰ درصد بود، به‌جز تیمار غرقابی با ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl که زنده‌مانی آن ۳۳/۳ درصد بود. شایان ذکر است که نهال‌های غرقاب‌شدهٔ *C. equisetifolia* در شوری ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl، با وجود رشد کمتر نسبت به نهال‌های شاهد و غرقابی با آب شیرین از زنده‌مانی زیادی (۱۰۰ درصد) برخوردار بودند و در طی دورهٔ بررسی‌شده تحمل به‌نسبت خوبی به غرقابی با آب شیرین و شور تا ۱۰۰ میلی‌مولار NaCl نشان دادند. این درحالی است که، نتایج حاصل از ایجاد ریشه‌های نابجای متعدد و منافذ هیپرتروفی در کازوآرینا نیز می‌تواند شاهدی بر مقاومت این گونه به تنش غرقابی با آب شیرین و آب شور تا ۱۰۰ میلی‌مولار شوری باشد. البته، به‌منظور اصلاح اراضی ماندابی، عرصه‌های غرقابی، مناطق سیل‌گیر و حواشی رودخانه‌های مناطق گرم و خشک جنوب ایران که با آب‌های شیرین یا شور غرقاب می‌شوند و ممکن است احتمال استفاده از نهال کازوآرینا را متصور کنند، پیشنهاد می‌شود چنین تحقیقی در زمان طولانی‌تر و با استفاده از سطوح غرقابی با شوری متنوع‌تر انجام گیرد تا اکولوژی و تحمل به غرقابی- شوری نهال این گونه دقیق‌تر معرفی شود و قضاوت در این زمینه آسان‌تر شود.

منابع

پاراد، قاسم‌علی، مسعود طبری کوچکسرایی و احسان ساداتی، ۱۳۹۱. پاسخ زنده‌مانی، رشد و تخصیص بیوماس اندام‌های نهال ون (*Fraxinus excelsior* L.) به تنش آبی، زیست شناسی کاربردی، ۱۰: ۲۰-۹.

ثابتی، حبیب‌الله، ۱۳۸۴. جنگل‌ها، درختان و درختچه‌های ایران، دانشگاه یزد، ۸۰۶ ص.

ساداتی، احسان، مسعود طبری کوچکسرایی، محمدحسن عصاره، حسین حیدری شریف‌آباد و پیام فیاض، ۱۳۹۰. واکنش‌نهال سفیدپلت (*Populus caspica* Bornm.) به‌تنش‌غرقابی، تحقیقات‌جنگل و صنوبر ایران، ۱۹(۳): ۳۴۰-۳۵۵.

قنبری، احسان، مسعود طبری کوچکسرایی و احسان ساداتی، ۱۳۹۰. ویژگی‌های رویشی نهال‌های صنوبر دلتوئیدس (*Populus delteoides*) تحت تنش غرقابی، مجله زیست شناسی گیاهی، ۱۰ (۲): ۵۸-۴۷.

Albrigo, L.G., J. Attaway, K. Bowman, R.S. Buker, W.S. Castle, K.W. Hancock, C.W. McCoy, R.P. Muraro, M.E. Rogers, M.A. Ritenour, T. Spreen, P.D. Spyke, J.P. Syvertsen, L.W. Timmer and R.C. Vachon, 2005. The impact of three hurricanes in 2004 on the Florida *Citrus* Industry: experiences and lessons learned, *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 11: 66–74.

Allen, J.A., S.R. Pezeshki and J.L. Chambers, 1996. Interaction of flooding and salinity stress on baldcypress (*Taxodium distichum*), *Tree Physiology*, 16: 307-313.

Barrett-Lennard, E.G., 2003. The interaction between waterlogging and salinity in higher plants: causes, consequences and implications, *Plant and Soil*, 253: 35–54.

Barrett-Lennard, E.G., P. Ratingen van and M.H. Mathie, 1999. The developing pattern of damage in wheat (*Triticum aestivum* L.) due to the combined stresses of salinity and hypoxia: experiments under controlled conditions suggest a methodology for plant selection, *Australian Journal of Agricultural Research*, 50: 129–136.

Bianchette, T.A., K-B. Liu, N.S.-N. Lam and L.M. Kiage, 2009. Ecological impacts of hurricane Ivan on the Gulf Coast of the Alabama: a remote sensing study, *Journal of Coastal Research*, 56: 1622–1626.

Cao, F.L. and W. Conner, 1999. Selection of flood-tolerant *Populus deltoides* clones for reforestation projects in China, *Forest Ecology and Management*, 117: 211-220.

Carter, J.L., T.D. Colmer and E.J. Veneklaas, 2006. Variable tolerance of wetland tree species to combined salinity and waterlogging is related to regulation of ion uptake and production of organic solutes, *New Phytologist*, 169: 123–134.

Conner, W.H., J.G. Gosselink and R.T. Parrondo, 1981. Comparison of the vegetation of three Louisiana swamp sites with different flooding regimes, *American Journal of Botany*, 68: 320–331.

Craig, G.F., D.T. Bell and C.A. Atkins, 1990. Response to salt and waterlogging stress of ten taxa of Acacia selected from naturally saline areas of Western Australia, *Australian Journal of Botany*, 38: 619–630.

Dahl, T.E., 1990. A wetland loss in the United States 1780's to 1980's. USDI Fish and Wildlife Srvice, Washington D.C, 21pp.

El-Lakany, M.H. and E.J. Luard, 1982. Comparative salt tolerance of selected *Casuarina* species, *Australian Forestry Research*, 13: 11-20.

Francis, R.A., A.M. Gurnell, G.E. Pettsand P.J. Edwards, 2005.Survival and growth responses of *Populus nigra*, *Salix elaeagnos* and *Alnus incana* cuttings to varying levels of hydric stress, *Forest Ecology and Management*, 210: 291-301.

Gimeno, V., J.P. Syvertsen, I. Simón, M., Nieves, L. Díaz-López, V. Martínez and F. García-Sánchez, 2012. Physiological and morphological responses to flooding with fresh or saline water in *Jatropha curcas*, *Environmental and Experimental Botany*, 78:47-55.

Glenz, C., R. Schlaepfer, I. Iorgulescu and F. Kienast, 2006. Flooding tolerance of Central European tree and shrub species, *Forest Ecology and Management*, 235: 1-13.

IPCC, 2007. Contribution of Working Group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (Eds), Climate change 2007, the physical science basis, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 996 pp.

Kozlowski, T.T., 1997. Responses of woody plants to flooding and salinity, *Tree Physiology Monograph*, 1: 1–29.

Kozlowski, T.T. and S.G. Pallardy, 2002. Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses, *Botanical Review*, 68: 270-334.

Krauss, K.W., J.L. Chambers, J.A. Allen, B.P. Luse and A.S. DeBosier, 1999. Root and shoot responses of *Taxodium distichum* seedlings subjected to saline flooding, *Environmental and Experimental Botany*, 41:15–23.

Kuo, S.R., C.Y. Liu and S.H. Hsu, 1999. The symptoms and morphological adaptation of broad-leaved trees distributed in low elevation of Taiwan after salt-water flooding, *Quarterly Journal of the Experimental Forest of National Taiwan University*, 13(3): 211-223.

Li, S., S.R. Pezeshki, S. Goodwin and F.D.J. Shields, 2004. Physiological responses of black willow (*Salix nigra*) cuttings to a range of soil moisture regimes, *Photosynthetica*, 42: 585–590.

McCarron, J.K., K.W. McLeod and W.H. Conner, 1998. Flooding and salinity stress of wetland woody species, buttonbush (*Cephalanthus occidentalis*) and swamp tupelo (*nyssa sylvatica* VAIL. Bilfron), *The Society of Wetland Scientists*, 18(2): 165-175.

Munns, R. and A. Termaat, 1986. Whole plant response to salinity, *Australian Journal Plant Physiology*, 13: 143-160.

Munns, R. and M. Tester, 2008. Mechanisms of salinity tolerance, *Annual Review of Plant Biology*, 59: 651–681.

Ng, B., 1987. The effects of salinity on growth, nodulation and nitrogen fixation of *Casuarina equisetifolia*, *Plant and Soil*, 103(1):123-125.

Osava, T., H. Mitsuhashi, H. Niva and A. Ushimaru, 2011. The role of river confluences and meanderings in preserving local hot spots for threatened plant species in riparian ecosystems, *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 21: 358–363.

Pezeshki, S.R., R.D. DeLaune and W.H.J. Patrick, 1989. Differential response of selected mangroves to soil flooding and salinity: gas exchange and biomass partitioning, *Canadian Journal of Forest Research*, 20(7): 869-874.

Pezeshki, S.R., 1992. Response of *Pinus taeda* L to soil flooding and salinity, *Annals of Forest Science*, 49: 149-159.

Pezeshki, S.R., 2001. Wetland plants responses to soil flooding, *Environmental and Experimental Botany*, 46: 299-312.

Pinyopusarerk, P. and, A.P.N. House, 1993. *Casuarina*: An Annotated Bibliography of *C. equisetifolia*, *C. junghuhniana* and *C. oligodon*. International Centre for Research in Agroforestry, Nairobi, Kenya, 296 pp.

Srivastava, A.K. and R.S. Ambasht, 1994. Soil moisture control of nitrogen fixation activity in dry tropical *Casuarina* plantation forest, *Journal of Environmental Management*, 42: 49-54.

Shanklin, J. and T.T. Kozlowski, 1985. Effect of flooding of soil ongrowth and subsequent responses of *Taxodium distichum* seedlings to SO_2, *Environmental Pollution*, 38:199- 212.

Van der Moezel, P.G., L.E. Watson, G.V.N. Pearce-Pinto and D.T. Bell, 1988. The response of six *Eucalyptus* species and *Casuarina obesa* to the combined effect of salinity and waterlogging, *Australian Journal of Plant Physiology*, 15: 465-74.

Wang, K. and Y. Jiang, 2007. Waterlogging tolerance of Kentucky bluegrass cultivars, *Hortscience*, 42: 386–390.

Yin, Ch., X. Pang and K. Chen, 2009. The effects of water, nutrient availability and their interaction on the growth, morphology and physiology of two poplar species, *Environmental and Experimental Botany*, 67: 196-203.

Zhang, L.H., G.F. Ye, Y.M. Lin, H.C. Zhou and Q. Zeng, 2009. Seasonal changes in tannin and nitrogen contents of *Casuarina equisetifolia* branchlets, *Journal of Zhejiang University Science B*, 10: 103–111.

Response of *Casuarina equisetifolia* Blancon. seedlings to salinity-flooding stress

S. Azizi[1], M. Tabari[2*], and S. E. Sadati[3]

[1]M.Sc. Student of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran
[2] Prof., Department of Forestry, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I. R. Iran
[3] Assistant Prof., Agricultural and Natural Resources Research Center of Mazandaran, Sari, I. R. Iran

(Received: 9 July 2013, Accepted: 2 August 2013)

Abstract

Some growth characteristics of *Casuarina equisetifolia* seedlings affected by salinity-flooding stresses including 0 (freshwater), 50, 100, 150 mili-Molar NaCl and control (without flooding and salinity) treatments were studied in greenhouse as completely randomized design for 120 days. The results showed survival in all treatments was 100%, but in flooding treatment with 150 mM NaCl it decreased to 33.3%. Height growth and diameter growth decreased in various levels of flooding-salinity, and also with increasing salinity. Flooding-salinity stress resulted in decreasing dry biomass of seedlings and creation of adventitious roots in all flooding levels, but the biomass and number of adventitious roots decreased with increasing salinity. Biomass of adventitious roots in flooding levels with freshwater, and flooding with 150 mM NaCl were 6 and 3 times of main roots biomass, respectively. Based on the observations, in all flooding levels, one week after stress, hypertrophy pores were formed in part of the stem located in water. Generally, this research showed that in the studied period in flooding treatment, growth and biomass allocations of organs of *C. equisetifolia* seedlings decreased with increasing salinity. However, treatments lower than 100 mM NaCl did not display any decrease in survival, but in lower salinity concentrations survival was always 100%. Regarding to creation of abundant adventitious roots and hypertrophy pores showing different resistance aspects to flooding, accomplishment of such a study in next growing seasons can reveal more accurate resistance of *C. equisetifolia* seedlings to salinity-flooding stress.

Keywords: Adventitious roots, *Casuarina equisetifolia,* Diameter growth, Salinity-flooding stress, Total biomass.

[*] Corresponding author Tell: 09112246250 Email: mtabari@modares.ac.ir