

ویژگی‌های رویشی نهال‌های صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) تحت تنش غرقابی

احسان قنبری، مسعود طبری* و احسان ساداتی

گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی نور، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

چکیده

صنوبر دلتوئیدس (*Populus deltoides*) یکی از گونه‌های مهم خانواده Salicaceae است که در آمریکای شمالی پراکنش داشته و در دهه‌های اخیر، از کشت و توسعه آن در استان‌های شمالی کشور استقبال شده است. در این مطالعه، پاسخ‌های رشد و زنده‌مانی نهال‌های صنوبر دلتوئیدس در ارتباط با تنش غرقابی در سه سطح شاهد، غرقابی سطحی (۳ سانتی‌متر) و غرقابی عمقی (۱۶ سانتی‌متر) در طرحی کاملاً تصادفی به مدت ۱۲۰ روز در دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس (شهرستان نور) در شرایط صحرایی آزمایش شد. نتایج نشان داد که میزان زنده‌مانی صنوبر دلتوئیدس در سطوح شاهد و غرقابی تفاوتی نداشته، بیش از ۹۰ درصد نهال‌ها زنده ماندند. با افزایش عمق غرقابی، میزان رویش ارتفاعی کاهش یافت، ولی تفاوت آشکاری از این لحاظ بین سطح غرقابی سطحی (۳ سانتی‌متر) با شاهد مشاهده نشد. غرقابی باعث ایجاد ریشه نابجا شد و با زیاد شدن عمق غرقابی، بیوماس ریشه نابجا افزایش یافت. از طرف دیگر، غرقابی به کاهش رشد قطری یقه، سطح برگ، سطح ویژه برگ، طول ریشه، بیوماس ریشه و بیوماس خشک کل نهال منجر شد. با توجه به نتایج این تحقیق، می‌توان گفت، صنوبر دلتوئیدس گونه‌ای مقاوم به غرقابی است و همانند اراضی جلگه‌ای و حاشیه رودخانه‌ها می‌تواند برای احیای دشت‌هایی که در معرض سیلاب‌های ادواری قرار می‌گیرند، نیز استفاده شود.

واژه‌های کلیدی: بیوماس، رویش قطری یقه، ریشه نابجا، سطح برگ، شادابی

مقدمه

هستند (Visser et al., 2003). آثار نامطلوب شرایط غرقابی اغلب به تغییر در پراکنش و ترکیبات گونه‌های جنگلی منجر می‌شود (Oliveira et al., 1994). با این حال، مقاومت به غرقابی به طور گسترده‌ای بین گونه‌ها

شرایط غرقابی و ماندابی در کنار کمبود آب، شوری، حداقل و حداکثر دما، از مهم‌ترین تنش‌های غیرزیستی مؤثر در پراکنش گونه‌ها در سطح جهان

مناطق روستایی دارد. این گونه در کشور به فراوانی کاشته شده، دارای توانایی رشد در نقاط مرطوب و حاشیه رودخانه‌هاست. در سال‌های اخیر، از کشت و توسعه گونه‌های مختلف صنوبر در استان‌های شمالی کشور استقبال شده است (امان‌زاده و همکاران، ۱۳۸۴). با توجه به اینکه کاشت صنوبر راهکاری عملی در تولید چوب نیز هست، باید برای افزایش و استمرار تولید آن مطالعه بیشتری صورت گیرد؛ لذا بررسی زنده‌مانی و رشد آن در شرایط تنش‌های محیطی امری ضروری است. مطالعات انجام شده توسط سعیدی و آزادفر (۱۳۸۸) بر مقاومت به غرقابی گونه‌های صنوبر اورآمریکن (*P. euramericana*)، صنوبر دلتوئیدس و صنوبر تبریزی (*P. nigra*) نشان داد که نرخ زنده‌مانی نهال‌ها، ۱۱ روز پس از اعمال غرقابی، به ترتیب ۹۰، ۷۰ و ۸۰ درصد بود. Gladwin و James Roelle (۱۹۹۸) گزارش کردند که زنده‌مانی نهال‌های یک‌ساله *P. deltoides* تحت تنش غرقابی به مدت ۲۸ روز در بهار، ۹۸/۷ درصد (در سطح شاهد) و در غرقابی ۹۲/۲ درصد بوده است. Cao و Conner (۱۹۹۹) در طول دوره ۴۲ روزه، مورفولوژی و رشد ۱۶ کلون از صنوبر دلتوئیدس را در شرایط غرقابی بررسی کردند. زنده‌مانی در طول دوره، ۱۰۰ درصد بود؛ با این حال، غرقابی باعث زردی و ریزش برگ‌ها و همچنین، کاهش سطح برگ و تعداد برگ در همه پایه‌ها نسبت به شاهد شده بود. غرقابی همچنین، از رشد ریشه جلوگیری کرده، باعث زوال سیستم ریشه اصلی شد. Gong و همکاران (۲۰۰۷) صفات مورفولوژیک و رشد ۱۴ کلون صنوبر (*P. trichocarpa*، *P. deltoides* و *P. nigra*) را در یک آزمایش ۳۷ روزه تحت دو سطح غرقابی ۱۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر آزمایش کردند که در همه ۱۴ کلون، توسعه و نرخ برگ‌زایی، ارتفاع و رشد قطری

متفاوت است و اطمینان از استقرار موفقیت‌آمیز پروژه‌های احیایی، نیازمند دانش قبلی درباره پتانسیل گونه‌ها، به ویژه پاسخ به تغییرات شرایط آبی است. غرقابی به سرعت میزان جذب و تعرق را کاهش می‌دهد، که میزان این کاهش بین گونه‌های مختلف متفاوت است (Kozłowski *et al.*, 1991). غرقابی همچنین، باعث جلوگیری از طویل شدن ساقه، توسعه برگ، پیری و ریزش برگ‌ها و کاهش فعالیت فتوسنتز می‌شود (Kozłowski *et al.*, 1991). گونه‌های بردبار به غرقابی از طریق تغییرات مورفولوژیک، مانند توسعه فضاها بین سلولی در میان منافذ گیاهی، افزایش رشد ساقه، تشکیل ریشه‌های نابجا و توسعه آثرانشیم به شرایط غرقابی پاسخ می‌دهند (Kozłowski, 1997). گونه‌های خانواده Salicaceae از جمله جنس صنوبر (*Populus*) سازگاری‌های فیزیولوژیک قابل ملاحظه‌ای را در شرایط نامناسب حاشیه رودخانه‌ها نشان می‌دهند (National Research Council, 2002, Karrenberg *et al.*, 2002) که از آن جمله می‌توان به رشد سریع، تولید بذرهای بارور و داشتن پتانسیل تکثیر غیرجنسی اشاره کرد (Souch and Stephens, 1998; Barsoum, 2002; Karrenberg *et al.*, 2002). صنوبرها گونه‌هایی آبدوست هستند که عموماً در حاشیه رودخانه‌ها رشد می‌کنند. بذر آنها در بهار توسط آب و باد پخش می‌شود و بسترهای سیلابی حاشیه رودخانه‌ها مکان مناسبی برای استقرار آنهاست (Rood *et al.*, 2003). یکی از مهم‌ترین گونه‌های خانواده Salicaceae صنوبر دلتوئیدس (*P. deltoides*) است که بومی آمریکای شمالی است (قاسمی، ۱۳۷۸). جنگل‌کاری با این گونه در حاشیه مزارع و رودخانه‌ها نقش مؤثری در توسعه اقتصادی و اجتماعی

حوضچه‌ای با استفاده از بلوک ساخته و سطوح داخلی آن با کیسه پلاستیکی پوشانده شد، سپس نهال‌های گلدانی در آن قرار داده شدند. برای حفظ سطح غرقابی سطحی، هر روز آب‌دهی (۰/۷۵ لیتر) صورت گرفت. همچنین، در غرقابی عمقی، هر دو روز تا رسیدن به سطح مورد نظر (۱۶ سانتی‌متر)، آب‌دهی صورت گرفت. آب‌دهی تیمار شاهد بر اساس ظرفیت زراعی (هر ۳ روز ۰/۵ لیتر) انجام شد.

اندازه‌گیری‌ها

در ابتدای دوره غرقابی، شاخص‌های مورفولوژیک از جمله ارتفاع و قطر (در ۱ سانتی‌متر بالای سطح خاک) و همچنین، تعداد برگ اندازه‌گیری شد. در پایان دوره شاخص‌های قطر، ارتفاع، تعداد برگ، زنده‌مانی، تغییرات آن در سطح تیمار اندازه‌گیری گردید. اندازه‌گیری قطر با استفاده از کولیس دیجیتالی (Guanglu، مدل B/T14899-94) انجام گرفت. تأثیرات مشاهده‌ای از جمله ریشه‌های نابجا (adventitious root) و منافذ هیپرتروفی (hypertrophy lenticels) روی ساقه نیز ثبت شد. برای اندازه‌گیری شادابی در نهال‌های صنوبر، ۴ طبقه در نظر گرفته شد که شامل: ۱- به شدت رنگ‌پریده یا مربوط به نهال‌های خشکیده (بیش از ۶۰ درصد تعداد برگ‌ها رنگ‌پریده)؛ ۲- نسبتاً رنگ‌پریده، اما در حال رشد (۲۵-۶۰ درصد تعداد برگ‌ها رنگ‌پریده)؛ ۳- شادابی متوسط، واجد نهال‌های کمی رنگ‌پریده، ولی قوی و در مجموع سرحال (۱۰-۲۵ درصد تعداد برگ‌ها رنگ‌پریده)؛ ۴- شادابی خوب، واجد نهال‌های کاملاً سالم و سرحال (تا ۱۰ درصد برگ‌ها رنگ‌پریده) بود (Anonymous, 1999). در پایان آزمایش، از هر تکرار یک نهال از خاک خارج کرده، پس از شستشوی خاک اطراف ریشه، عمق

و تعداد برگ کاهش یافته بود. به طور کلی، اگرچه مطالعات متعددی در ارتباط با تنش غرقابی روی *P. deltoides* در خارج از کشور انجام شده، با این حال، اکثر این مطالعات در دوره‌های کوتاه مدت و کمتر از ۶۰ روز بوده است. هدف از انجام این تحقیق، بررسی زنده‌مانی و رشد گونه صنوبر دلتوئیدس در شرایط غرقابی در سطوح مختلف و در دوره طولانی‌تر (۱۲۰ روز) و همچنین، بررسی چگونگی تغییرات میزان زنده‌مانی و خصوصیات مورفولوژی و رشد این گونه تحت تنش غرقابی است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق، در تاریخ ۲۰ خرداد ۱۳۸۹، نهال‌های بازکاشتی گلدانی صنوبر دلتوئیدس در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۳ تیمار و ۴ تکرار آزمایش شدند. محل آزمایش، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس واقع در شهرستان نور با متوسط حداقل دمای سالیانه ۱۳/۴، متوسط حداکثر دمای سالیانه ۲۰/۴۸، و متوسط بارندگی سالیانه ۱۲۸۵/۶۵ میلی‌متر، بوده است. خاک مورد استفاده در گلدان‌ها (با ابعاد عرض ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۳ سانتی‌متر) دارای بافت لومی-شنی و اسیدیته ۸/۴ بوده است. از بین ۶۰ نهال موجود، تعداد ۴۸ پایه از بهترین و همسان‌ترین نهال‌ها انتخاب گردید (میانگین قطر و ارتفاع، به ترتیب ۷/۲۶ و ۸۴/۰۴ سانتی‌متر) و تیمار غرقابی بر اساس شرایط موجود و سایر تحقیقات انجام شده (Cao and Conner, 1999; Gong et al., 2007; Iwanaga and Yamamoto, 2008) در سه سطح شاهد، غرقابی سطحی (۳ سانتی‌متر) و غرقابی عمقی (۱۶ سانتی‌متر) در یک دوره ۱۲۰ روزه (اواخر خرداد تا اواخر مهر) انجام شد. برای اعمال سطح غرقابی عمقی،

نتایج

نتایج آزمون تجزیه واریانس یک‌طرفه (one-way ANOVA) نشان داد که بین همه عوامل اندازه‌گیری شده، اختلاف معنی‌داری وجود دارد، تنها در زنده‌مانی و بیوماس خشک ساقه، و بین سطوح تیمار اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱). در پایان دوره آزمایش، زنده‌مانی نهال‌های صنوبر در سطح غرقابی سطحی (۳ سانتی‌متر بالای سطح خاک) ۱۰۰ درصد و در سطوح دیگر ۹۳/۷۵ درصد بود.

تنش غرقابی باعث کاهش رویش قطری نهال‌های صنوبر شد؛ به طوری که مقدار رویش قطری در سطح شاهد به طور معنی‌داری بیشتر از سطوح دیگر بود و با افزایش سطح غرقابی رویش قطری کاهش یافت. مقدار رویش ارتفاعی چندان تحت تأثیر تنش غرقابی قرار نگرفته، تنها در سطح غرقابی عمقی کاهش یافته بود.

در ابتدای دوره تحقیق، میانگین تعداد برگ در سطوح شاهد، غرقابی سطحی و غرقابی عمقی به ترتیب برابر با ۱۶/۹۳، ۱۷/۳۷ و ۱۶/۳۷ بود. این تعداد در پایان دوره، در سطح شاهد بیشترین (۲۰/۵۶) و در سطوح غرقابی سطحی و عمقی به ترتیب برابر ۸/۳۱ و ۷ بود. در حقیقت، تعداد برگ پس از تنش (در پایان دوره آزمایش) نسبت به قبل از تنش (قبل از آزمایش) در سطح شاهد، به تعداد ۳/۶۳، افزایش یافت؛ در حالی که در سطوح غرقابی سطحی و غرقابی عمقی به ترتیب به تعداد ۹/۰۶ و ۹/۳۷ کاهش یافت (شکل ۱). در حقیقت شکل ۱، افزایش تعداد برگ در شاهد و کاهش تعداد برگ در تیمارهای تحت تنش را در این تحقیق نشان می‌دهد.

ریشه‌دوانی نیز اندازه‌گیری شد. برای تعیین سطح برگ، تعداد ۴ برگ از هر تکرار انتخاب و اسکن گردید، سپس سطح آن با استفاده از نرم‌افزار Image Tool محاسبه شد (Yang et al., 2007). همچنین، سطح برگ کل نهال (متوسط سطح برگ در تعداد برگ)، سطح متوسط برگ و سطح ویژه برگ (سطح برگ بر روی وزن خشک برگ، (Yin et al., 2009)) محاسبه شد. سپس هر یک از نهال‌ها را از خاک خارج و پس از شستشو، به سه بخش ریشه، ساقه و برگ تقسیم و در دمای ۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۴۸ ساعت (Yin et al., 2009) خشک گردید و بیوماس کل، بیوماس ریشه، ساقه و برگ تعیین شد. پس از آن، وزن مخصوص برگ با تقسیم وزن خشک برگ به سطح برگ، تعیین شد. همچنین، نسبت بیوماس ریشه به اندام هوایی (root/shoot)، نسبت بیوماس خشک ریشه به کل و نسبت بیوماس خشک اندام‌های هوایی به کل محاسبه گردید.

مطالعات آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۷ و طراحی نمودار با نرم‌افزار Excel انجام گرفت. برای آزمون نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و برای همگنی واریانس از آزمون (لون) استفاده شد. در صورت نرمال بودن داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس و برای مقایسه میانگین‌ها از LSD استفاده شد. داده‌های غیر نرمال با استفاده از آزمون‌های ناپارامتریک معادل پارامتریک انجام شد. همچنین، برای تعیین معنی‌داری شاخص‌های کیفی مانند شادابی از آزمون مربع کای (χ^2) استفاده گردید.

جدول ۱- تجزیه واریانس یک طرفه (one-way ANOVA) صفات اندازه‌گیری شده نهال صنوبر در سطوح مختلف غرقابی. ns و * به ترتیب نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵٪، مجموع مربعات (SS)، میانگین مربعات (MS) و مقدار χ^2

صفات	SS	d.f.	MS	F- value	P- value
زنده‌مانی (درصد)	۱۰۴/۱۶	۲	۵۲/۰۸	۰/۵	۰/۶۲۲ ^{ns}
رویش قطری (سانتی‌متر)	۱۴/۴۲	۲	۷/۲۱	۱۸/۳۱	۰/۰۰۰*
رویش ارتفاعی (سانتی‌متر)	۴۰۹/۱۳	۲	۲۰۴/۵۶	۵/۴۵	۰/۰۰۸*
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	۶۵۷/۱	۲	۲۳۸/۵۵	۱۵/۴	۰/۰۰۱*
سطح برگ کل (سانتی‌متر مربع)	۱۴۶۳۴۵۰/۸۸	۲	۷۳۱۷۲۵/۴۴۲	۱۰۱/۹۴۲	۰/۰۰۰*
سطح مخصوص برگ (سانتی‌متر مربع بر گرم)	۴۹۱۱/۹۴	۲	۲۴۵۵/۹۷	۴۰/۳۵	۰/۰۰۰*
وزن مخصوص برگ (گرم بر سانتی‌متر مربع)	۰/۰۰۰	۲	۰/۰۰۰	۲۶/۶۶	۰/۰۰۰*
تعداد برگ	۱۷۹۰/۵۴	۲	۸۹۵/۲۷	۲۱/۱	۰/۰۰۰*
طول ریشه‌دوانی (سانتی‌متر)	۷۷۳۰/۶۶	۲	۳۸۶۵/۳۳	۲۱۶/۰۷	۰/۰۰۴*
بیوماس خشک کل (گرم)	۴۰۹/۱۷۷	۲	۲۰۴/۵۸۹	۴۵/۳۲۹	۰/۰۰۰*
بیوماس خشک ریشه اصلی (گرم)	۳۰۸/۵۷	۲	۱۵۴/۲۸	۷۶/۹۳	۰/۰۰۰*
بیوماس خشک ریشه کل (گرم)	۲۰۴/۹۱۷	۲	۱۰۲/۴۵۹	۴۱/۶۹۶	۰/۰۰۰*
بیوماس خشک برگ (گرم)	۳۰/۰۶	۲	۱۵/۰۳	۷۱/۴۱	۰/۰۰۰*
بیوماس خشک ساقه (گرم)	۲۴/۱۸	۲	۱۲/۰۹	۴/۱۸	۰/۰۷۳ ^{ns}
نسبت بیوماس ریشه به اندام‌های هوایی	۰/۳۱	۲	۰/۱۵	۴۵/۳۴	۰/۰۰۰*
نسبت بیوماس ریشه به بیوماس کل	۰/۰۴۸	۲	۰/۰۲۴	۱۳/۴۳۹	۰/۰۰۶*
نسبت بیوماس اندام‌های هوایی به کل	۰/۰۴۸	۲	۰/۰۲۴	۱۳/۴۳۹	۰/۰۰۶*
بیوماس ریشه نابجا (گرم)	۹/۶۴	۲	۴/۸۲	۴۲/۰۹	۰/۰۰۰*
شادابی	-	۲	-	۲۱/۳۲ ^{χ^2}	۰/۰۰۰*

(shoot) در سطح شاهد بیشترین مقدار بود و در سطوح دیگر تفاوتی نشان نداد. مقدار بیوماس خشک برگ در بین سطوح غرقابی کاهش یافت، در حالی که در سطح شاهد دارای بیشترین مقدار بود. غرقابی تأثیر معنی‌دار بر بیوماس خشک ساقه نداشت و باعث تولید ریشه نابجا بر ریشه‌های اصلی شد، به گونه‌ای که با افزایش عمق غرقابی میزان بیوماس خشک ریشه نابجا افزایش یافت (شکل ۲).

سطح مخصوص برگ در سطح شاهد بیشترین

تنش غرقابی باعث کاهش بیوماس خشک کل در سطوح غرقابی سطحی و عمقی شد، که این مقدار کاهش در بیوماس ریشه شدیدتر بود. در واقع، تنش غرقابی باعث سیاه شدن و از بین رفتن ریشه‌های اصلی، متوقف شدن تولید ریشه‌های جدید و رویش ریشه‌های قبلی شد. میزان بیوماس خشک کل به طور معنی‌داری در سطح شاهد از دو سطح دیگر بیشتر بود و بین دو سطح غرقابی تفاوتی وجود نداشت. میانگین بیوماس خشک ریشه و بیوماس خشک اندام‌های هوایی

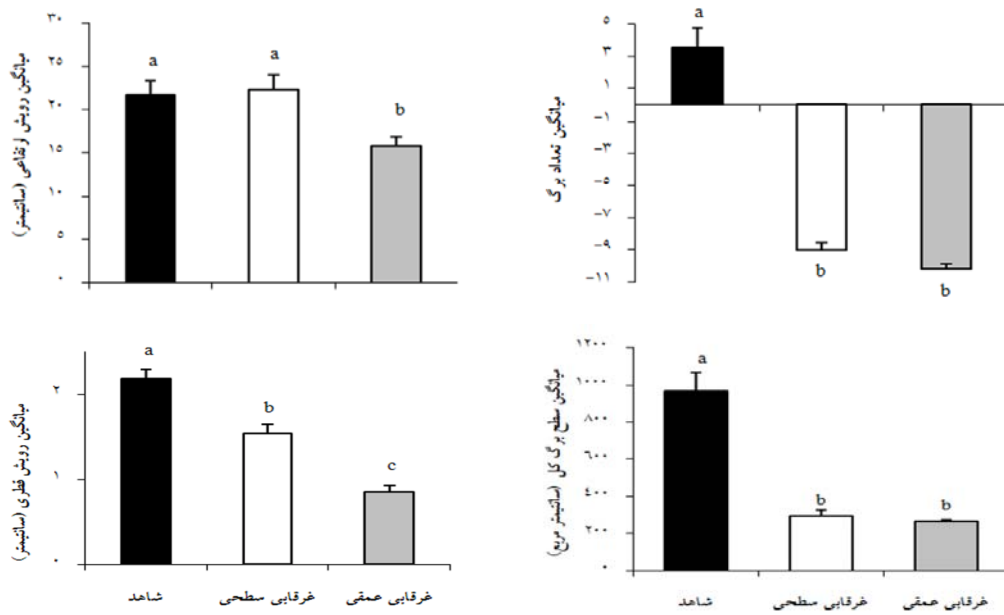
بحث و نتیجه‌گیری

بسیاری از عوامل از جمله گونه، واریته، سن، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محتوی سیلاب، فصل، عمق و دوره غرقابی بر پاسخ درختان به غرقابی تأثیرگذار هستند (Kozłowski, 1979). در این تحقیق، گونه صنوبر دلتوئیدس در سطوح مختلف غرقابی به مدت ۱۲۰ روز بررسی شد که زنده‌مانی در سطح غرقابی سطحی (۳ سانتی‌متر) ۱۰۰ درصد و در سطوح شاهد و غرقابی عمقی (۱۶ سانتی‌متر) ۹۳/۷۵ درصد بود. Maisenhelder و McKnight (۱۹۶۸) مشاهده کردند که زنده‌مانی نهال‌های یک‌ساله صنوبر دلتوئیدس تحت شرایط ماندابی رودخانه می‌سی‌سی‌پی از اواسط ماه مارس تا اواخر ماه برابر ۹۰ درصد است. در تحقیقی مشابه، Keen و Loucks (۱۹۷۳) زنده‌مانی نهال‌های یک‌ساله صنوبر دلتوئیدس را در مدت غرقابی ۳ هفته ۱۰۰ درصد و در مدت ۴ هفته ۶۷ درصد گزارش کردند. Cao و Conner (۱۹۹۹) زنده‌مانی ۱۶ کلون صنوبر دلتوئیدس به تنش غرقابی را در مدت ۴۲ روز برابر ۱۰۰ درصد گزارش کردند. همچنین، یافته‌های Gong و همکاران (۲۰۰۷) زنده‌مانی نهال‌های ۱۴ کلون صنوبر (*P. nigra* و *P. deltoids*, *P. trichocarpa*) تحت غرقابی ۱۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر (در مدت ۳۷ روز) ۱۰۰ درصد بود. با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمایش و نتایج محققان فوق به نظر می‌رسد، صنوبر دلتوئیدس از زنده‌مانی خوبی نسبت به شرایط غرقابی برخوردار و یکی از گونه‌های مقاوم به غرقابی است.

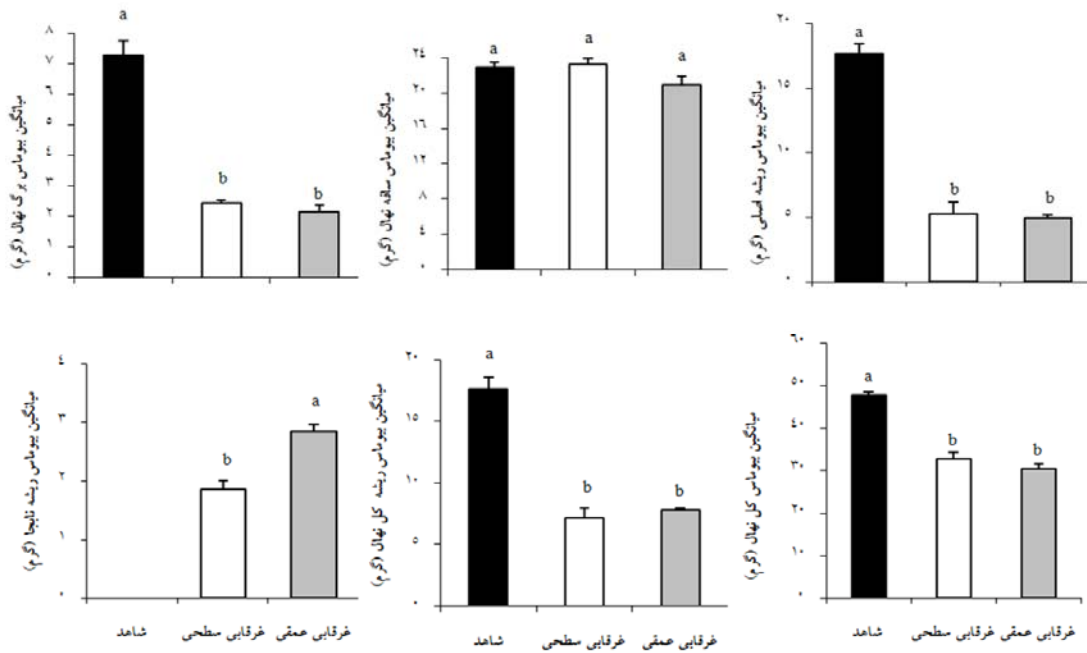
مقدار بود و در دو سطح دیگر تفاوتی نشان نداد. غرقابی باعث افزایش وزن مخصوص برگ شد. در سطح شاهد بیشترین طول ریشه‌دوانی مشاهده شد و سیستم ریشه‌ای توسعه بیشتری یافت، در حالی که در غرقابی طول ریشه‌دوانی نسبت به سطح شاهد کمتر و توسعه سیستم ریشه‌ای آنها متوقف شد. نسبت میانگین بیوماس خشک ریشه به اندام‌های هوایی در سطح شاهد بیشترین مقدار را نشان داد و بین دو سطح دیگر تفاوتی وجود نداشت. نسبت بیوماس ریشه به بیوماس خشک کل نهال در سطح غرقابی سطحی و عمقی نسبت به شاهد کمتر بود، اما نسبت بیوماس خشک اندام‌های هوایی نهال به کل نهال در غرقابی سطحی و عمقی نسبت به شاهد بیشتر بود (جدول ۲).

نتایج آزمون مربع کای نشان داد که بین سطوح مختلف تیمار از نظر شادابی اختلاف معنی‌داری وجود دارد و با افزایش عمق غرقابی میزان شادابی کاهش یافت ($\chi^2 = 21.32$, $P = 0.000$) (جدول ۳). در تیمار شاهد همه نهال‌ها از شادابی خوب برخوردار بودند. در تیمارهای غرقابی کیفیت شادابی نهال‌ها کاهش یافت، به طوری که در غرقابی سطحی ۱۲/۵ درصد نهال‌ها نسبتاً رنگ‌پریده و در غرقابی عمقی ۳۱/۲۵ درصد نهال‌ها نسبتاً رنگ‌پریده و ۶/۲۵ درصد نهال‌ها به شدت رنگ‌پریده بودند.

منافذ هیپرتروفی که به همراه ریشه‌های نابجا از جمله سازگاری‌های مورفولوژیک هستند، حدود ۱۵ روز پس از اعمال تنش غرقابی در هر دو سطح غرقابی روی قسمت‌هایی از ساقه نهال‌های غوطه‌ور در آب به وجود آمدند.



شکل ۱- مقایسه میانگین رویش ارتفاعی، قطری، سطح برگ کل و افزایش یا کاهش برگ نهال‌های صنوبر دلتوئیدس در سطوح مختلف تیمار با استفاده از آزمون LSD



شکل ۲- مقایسه میانگین بیوماس خشک اندام‌های رویشی نهال صنوبر در سطوح مختلف غرقابی با استفاده از آزمون LSD

جدول ۲- مقایسه میانگین برخی صفات اندازه‌گیری شده نهال صنوبر در سطوح مختلف غرقابی با استفاده از آزمون LSD با سطح اطمینان ۹۵ درصد. * اعداد بعد از میانگین مقدار اشتباه معیار را نشان می‌دهند.

سطوح تیمار		شاهد	صفات
غرقابی عمقی	غرقابی سطحی		
۳۱/۷۳±۱/۱۳ ^b	۳۳/۰۳±۱/۵۹ ^b	۴۸/۰۴±۳/۴۸ ^a	متوسط سطح برگ (سانتی متر مربع)
۵۱/۱۵±۱/۴۶ ^b	۵۱/۴۶±۲/۸۱ ^b	۹۴/۲۲±۵/۹۶ ^a	سطح مخصوص برگ (سانتی متر مربع بر گرم)
۰/۰۲±۰/۰۰۱ ^a	۰/۰۲±۰/۰۰۱ ^a	۰/۰۱±۰/۰۰۱ ^b	وزن مخصوص برگ (گرم بر سانتی متر مربع)
۲۸/۰۰±۲/۵۱ ^b	۳۳/۳۳±۲/۴ ^b	۹۲/۶۶±۲/۴ ^a	طول ریشه‌دوانی (سانتی متر)
۰/۲۱±۰/۰۰ ^b	۰/۱۸±۰/۰۴ ^b	۰/۵۹±۰/۰۳ ^a	نسبت بیوماس ریشه به اندام‌های هوایی
۰/۲۵±۰/۰۱ ^b	۰/۱۹±۰/۰۳ ^b	۰/۳۷±۰/۰۱ ^a	نسبت بیوماس ریشه به بیوماس کل
۰/۷۴±۰/۰۱ ^a	۰/۸۰±۰/۰۳ ^a	۰/۶۲±۰/۰۱ ^a	نسبت بیوماس اندام‌های هوایی به کل

جدول ۳- درصد فراوانی کیفیت شادابی نهال‌های صنوبر دلتوئیدس در سطوح مختلف تیمار

غرقابی عمقی	غرقابی سطحی	شاهد	کیفیت شادابی
۱۸/۷۵	۴۳/۷۵	۱۰۰	شادابی خوب
۴۳/۷۵	۴۳/۷۵	-	شادابی متوسط
۳۱/۲۵	۱۲/۵	-	نسبتاً رنگ‌پریده
۶/۲۵	-	-	به شدت رنگ‌پریده

زرد شدن و خزان زود رس برگ‌ها و کاهش کلروفیل برگ در سطح غرقابی مربوط بوده است. از طرف دیگر، رویش ارتفاعی صنوبر چندان تحت تأثیر غرقابی قرار نگرفته بود. در واقع، یکی از سازگاری‌های گیاهان برای مقابله با تنش، راهکار گریز (escape) است که در آن گیاهان با افزایش رشد اندام‌های هوایی و طول خود، برای رسیدن به مناطق غنی از اکسیژن، باعث افزایش مقاومت خود به غرقابی می‌شود (Kreuzwieser *et al.*, 2004).

میزان بیوماس خشک کل نهال‌های شاهد از نهال‌های غرقابی بیشتر بود که می‌تواند به علت تأثیر غرقابی بر کاهش رشد قطری، تعداد برگ و تولید ریشه

نتایج نشان داد که شرایط غرقابی باعث کاهش رشد در بیشتر صفات اندازه‌گیری شده در نهال‌های صنوبر دلتوئیدس شد. نهال‌های صنوبر در سطح شاهد به خوبی رشد کرده، از رشد قطری و ارتفاعی مناسبی برخوردار بودند. برگ‌ها به خوبی توسعه یافته و برگ‌دهی (تعداد برگ) مناسب بود؛ سیستم ریشه‌ای نیز رشد خوبی داشت. پاسخ نهال‌های صنوبر به غرقابی سطحی و عمقی شامل کاهش نرخ برگ‌زایی و افزایش ریزش و زرد شدن برگ، کاهش رشد قطری، سطح برگ، سطح برگ مخصوص، عدم توسعه سیستم ریشه‌ای، تولید ریشه‌های نابجا و خزان زودرس آنها بود. شادابی نیز در سطوح غرقابی کاهش یافت که یکی از دلایل آن به

غرقابی گزارش کردند. مطالعات انجام شده توسط Gong و همکاران (۲۰۰۷) بر کلون‌های مختلف صنوبر، ایجاد ریشه‌های نابجا را ۱۴ روز پس از غرقابی نشان داد. تولید ریشه‌های نابجا در صنوبر نشان‌دهنده مقاومت به غرقابی در این گونه است (Francis et al., 2005). همچنین، با افزایش سطح غرقابی تولید ریشه نابجا افزایش یافت که می‌تواند شاهدهی برای مقاوم بودن این گونه به سطوح غرقابی عمیق‌تر باشد.

یکی دیگر از سازگاری‌های مورفولوژیک گیاهان در پاسخ به تنش غرقابی، تولید منافذ هیپرتروفی است که باعث انجام تبادلات گازهای محلول و آزاد کردن ترکیبات سمی تولید شده توسط غرقابی می‌شود (Cao and Conner, 1999; Glenz et al., 2006). تشکیل منافذ هیپرتروفی نتیجه افزایش فعالیت فلوزن (بافت چوب پنبه‌ساز)، طولیل شدن و بزرگ شدن سلول است (Kozłowski, 1986; Larson et al., 1991). در این تحقیق، منافذ هیپرتروفی حدود ۱۵ روز پس از تنش در هر دو سطح غرقابی بر روی ساقه نهال به وجود آمدند. در پژوهشی دیگر، Cao و Conner (۱۹۹۹) نیز نشان دادند که ۱۰ تا ۱۵ روز پس از غرقابی منافذ هیپرتروفی بر روی ساقه صنوبر دلتوئیدس به وجود می‌آید.

به طور کلی، گونه‌های کاشته شده در پروژه‌های احیایی عرصه‌های سیلابی و حاشیه رودخانه‌ها باید قابلیت بردباری به طیف وسیعی از شرایط هیدرولوژیک را داشته و از سرعت رشد خوبی برخوردار باشند تا بتوانند بستر را مستحکم کنند و شرایط را برای موفقیت گونه‌های بعدی فراهم نمایند (Francis et al., 2005). نتایج حاصل از رشد و زنده‌مانی نسبتاً بالای نهال صنوبر

باشد. میزان بیوماس ریشه در سطح شاهد بیشتر از غرقابی بود، زیرا در سطح غرقابی به علت شرایط کمبود اکسیژن، رشد ریشه کاهش یافته و تولید ریشه‌های جدید متوقف شده است و به جای آنها ریشه‌های نابجا که نقش تنفس را در شرایط کمبود اکسیژن به عهده دارند، به وجود آمده‌اند (Kozłowski, 1997). کمبود طول ریشه‌دوانی در شرایط غرقابی، گاهی اوقات می‌تواند باعث ایجاد تنش خشکی، در شرایطی که سطح آب پایین می‌رود، شود (Glenz et al., 2006).

تحت شرایط غرقابی، در برخی گونه‌ها، پس از این که سیستم ریشه‌ای اصلی به علت عدم اکسیژن از بین رفت، ریشه‌های نابجا روی آن و قسمت‌هایی از ساقه که در آب غوطه‌ورند، به وجود می‌آید (Glenz et al., 2006). در واقع، از بین رفتن ریشه‌های قدیمی‌تر، ممکن است به سود توسعه ریشه‌های جوان‌تر باشد، این حالت در جنس‌های *Salix spp.*، *Populus spp.* و *Alnus spp.* مشاهده شده است (Glenz et al., 2006). صنوبر دلتوئیدس از جمله گونه‌هایی است که در شرایط غرقابی ریشه نابجا تولید می‌کند (Kozłowski, 1997). تولید ریشه‌های نابجا یکی از سازگاری‌های مورفولوژیک در 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 and Conner, 1999; Kozłowski and Pallardy, 2002). در این آزمایش حدود ۲۰ روز پس از غرقابی، ریشه‌های نابجا به وجود آمدند. به طور مشابه، Cao و Conner (۱۹۹۹) تولید ریشه نابجا را در نهال صنوبر دلتوئیدس، ۲۵ روز پس از

احیای مناطق جلگه‌ای، حاشیه رودخانه‌ها و نیز احیای دشت‌های در معرض سیلاب‌های ادواری، یکی از مناسب‌ترین گونه‌ها باشد. تحقیقات مشابه در زمان طولانی‌تر، سطوح غرقابی متنوع‌تر و تناوب‌های غرقابی می‌تواند اکولوژی این گونه را دقیق‌تر معرفی نماید.

در تحقیق حاضر، نشان دهنده مقاومت آن در پاسخ به تنش غرقابی است. همچنین، تولید ریشه‌های نابجا در صنوبر دلتوئیدس می‌تواند شاهدهی بر مقاومت این گونه به تنش غرقابی باشد (Francis *et al.*, 2005). با توجه به اینکه صنوبر از جمله گونه‌هایی است که به طور گسترده در داخل کشور کاشت می‌شود، می‌تواند برای

منابع

خشکی بر نرخ فتوسنتز خالص و درصد زنده‌مانی سه گونه مختلف صنوبر. مجله پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل ۱۶: ۹۳-۱۰۵.

قاسمی، ر. (۱۳۷۸) بررسی فنولوژی ارقام مختلف صنوبر در منطقه آب و هوایی کرج و صفرابسته گیلان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

امان‌زاده، ب.، صالحی، م. و امین‌املشی، م. (۱۳۸۴) بررسی ارتباط بین فعالیت دارکوب و جمعیت پروانه گالزا (*Paranthrene tabaniformis*) در نهالستان‌های صنوبر در استان گیلان. مجله پژوهشی تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران ۳: ۸۹-۹۲. سعیدی، ز. و آزادفر، د. (۱۳۸۸) تأثیر تنش‌های غرقابی و

Anonymous (1999) Forest condition in Europe. results of the 1997. Crown condition survey technical report prepared by federal research center for forestry and forest products, Brussels.

Barsoum, N. (2002) Relative contributions of sexual and asexual regeneration strategies in *Populus nigra* and *Salix alba* during the first years of establishment on a braided gravel bed river. *Evolutionary Ecology* 15: 255-279.

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

Francis, R. A., Gurnell, A. M., Petts, G. E. and Edwards, P. J. (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.

Gladwin, D. N. and James Roelle, E. (1998) Survival of plains cottonwood (*Populus deltoides* sub sp. *Monilifera*) and saltcedar

(*Tamarix ramosissima*) seedlings in response to flooding. *Wetlands* 18: 669-674.

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

Gong, J. R., Zhang, X. S., Huang, Y. M. and Zhang, C. L. (2007) The effects of flooding on several hybrid poplar clones in Northern China. *Agroforestry Systems* 69: 77-88.

Iwanaga, F. and Yamamoto, F. (2008) Effects of flooding depth on growth, morphology and photosynthesis in *Alnus japonica* species. *New Forests* 35: 1-14.

Karrenberg, S., Edwards, P. J. and Kollmann, J. (2002) The life history of Salicaceae living in the active zone of floodplains. *Freshwater Biology* 47: 733-748.

Kozlowski, T. T. (1979) Tree growth and environmental stresses. University of Washington Press, Seattle.

Kozlowski, T. T. (1986) Soil aeration and growth of forest trees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 1: 113-123.

- Kozlowski, T. T., Kramer, P. J. and Pallardy, S. G. (1991) The physiological ecology of woody plants. Academic Press, San Diego.
- Kozlowski, T. T. (1997) Responses of woody plants to flooding and salinity. Tree Physiology Monograph. Heron Publishing, Victoria.
- Kozlowski, T. T. and Pallardy, S. G. (2002) Acclimation and adaptive responses of woody plants to environmental stresses. Botanical Review 68: 270-334.
- Kreuzwieser, J., Papadopoulou, E. and Rennenberg H. (2004) Interaction of flooding with carbon metabolism of forest trees. Plant Biology 6: 299-306.
- Larson, K. D., Davies, F. S. and Schaffer, B. (1991) Foodwater temperature and stem lenticel hypertrophy in *Mangifera indica* (Anacardiaceae). American Journal of Botany 78: 1397-1403.
- Loucks, L. and Keen, R. A. (1973) Submergence tolerance of selected seedling trees. Journal of Forestry 71: 496-497.
- Maisenhelder, I. C. and McKnight, J. S. (1968) Cottonwood seedlings best for sites subject to flooding. Tree Planters Notes 19: 15-16.
- National Research Council (2002) Riparian areas: functions and strategies for management. National Academy Press, Washington.
- Oliveira, A. T., Vilela, E. A., Gavilanes, M. L. and Carvalho, D. A. (1994) Effect of flooding and understorey bamboos on the physiognomy and tree species composition of a tropical semideciduous forest in southeastern Brazil. Vegetatio 113: 99-124.
- Rood, S. B., Kalischuk, A. R., Polzin, M. L. and Braatne, J. H. (2003) Branch propagation, not cladoptosis, permits dispersive, clonal reproduction of riparian cottonwoods. Forest Ecology and Management 186: 227-242.
- Souch, C. A., Stephens, W. (1998) Growth, productivity and water use in three hybrid poplar clones. Tree Physiology 18: 829-835.
- Visser, E. J. W., Voessenek, L. A. C. J., Vartepetion, B. B. and Jackson, M. B. (2003) Flooding and plant growth. Annals of Botany 91: 107-109.
- Yang, Y., Liu, Q., Han, C., Qiao, Y. Z., Yao, X. Q. and Yin, H. J. (2007) Influence of water stress and low irradiance on morphological and physiological characteristics of *Picea asperata* seedlings. PHotosynthetica 45: 613-619.
- Yin, Ch., Pang, X. and Chen, K. (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.

Growth Characteristics of *Populus deltoides* seedlings under flood stress

Ehsan Ghanbary ¹, Masoud Tabari ^{1*} and Ehsan Sadati ²

¹ Department of forestry, Faculty of Natural Resource Tarbiat Modares University, Noor, Iran

² Research Center of Agriculture and Natural Resources of Mazandaran, Iran

Abstract

Populus deltoides is an important species of Salicaceae family and is distributed in Northern America. This species has been cultured widely in Northern provinces of Iran during recent decades. Survival and growth response of *P. deltoides* seedlings to flood stress was examined at three levels of: control, shallow flooded (3 cm) and deep flooded (16 cm) in a completely randomized design for 120 days. The experiment was set up under outdoor conditions at the campus of Natural Resources of Tarbiat Modares University, Noor, Iran. *P. deltoides* survival in the control and the flooding groups did not differ statistically and was more than 90%. By increasing flooding depth, height growth decreased but there was no differences between shallow flooding and the control. Flooding produced adventitious roots and with increasing flooding depth, adventitious root biomass enhanced. On the other hand, flooding decreased collar diameter growth, leaf area, specific leaf area, root length, root biomass, and total dry biomass of seedlings. Overall, the results showed that *P. deltoides* was tolerant to flooding and can be used for restoration of plains exposure to periodic floods like plateau and riparian areas.

Key words: Biomass, Collar diameter growth, Adventitious root, Leaf area, Vitality

* Corresponding Author: mtabari@modares.ac.ir