

تأثیر شوری بر جوانه‌زنی بذر، رشد و زنده‌مانی نهال‌های پالونیا فورتونی (*Paulownia fortunei*) در دو شرایط آزمایشگاه و گلخانه

هاجر شیخ^۱، علیرضا علی عرب^{۲*}، سید احسان ساداتی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشکده علوم جنگل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. استادیار گروه جنگلشناسی و اکولوژی جنگل دانشکده علوم جنگل دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۳. استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، ساری

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۵/۱۵، تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۱۴

چکیده

پالونیا فورتونی یکی از گونه‌های تندرشد وارداتی مهم در ایران است که تنش شوری ممکن است بر جوانه‌زنی و رشد آن تأثیر بگذارد. در این تحقیق با هدف شناخت واکنش این گونه در مواجهه با تنش شوری، تأثیر پنج تیمار شوری در غلظت‌های مختلف کلرید سدیم (۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار) بر جوانه‌زنی بذر، زنده‌مانی و صفات رویشی نهال‌های پالونیا فورتونی در دو شرایط آزمایشگاه و گلخانه بررسی شد. در شرایط آزمایشگاه، جوانه‌زنی بذر تحت پنج تیمار شوری با استفاده از طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با چهار تکرار، و در شرایط گلخانه‌ای، رشد و زنده‌مانی نهال‌های گلدانی پالونیا فورتونی براساس طرح کاملاً تصادفی با شش تکرار، تحت تأثیر پنج تیمار شوری در یک فصل رویش بررسی شد. نتایج نشان داد در فقدان شوری، قوه نامیه و سرعت جوانه‌زنی بذور پالونیا فورتونی به ترتیب ۸۹ درصد و ۱۹ بذر در روز است. درصد جوانه‌زنی بذر تا غلظت ۱۰۰ میلی‌مولار کاهش معنی‌داری نشان نداد، اما سرعت جوانه‌زنی بذر از غلظت ۵۰ میلی‌مولار به‌طور معنی‌داری شروع به کاهش کرد و در غلظت ۲۰۰ میلی‌مولار به کمترین حد رسید. زنده‌مانی نهال‌ها در تیمارهای ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۵۰ و ۸۳/۳ درصد کاهش، اختلاف معنی‌داری با شاهد (غیرشور) نشان داد. علاوه بر این، کاهش معنی‌دار صفات رویشی نهال‌ها از غلظت ۵۰ میلی‌مولار شروع شد، اما در سطوح شوری ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌مولار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: پالونیا فورتونی، تنش شوری، جوانه‌زنی بذر، رشد نهال، زنده‌مانی.

مقدمه

زیادی برای زراعت چوب، بیشه‌زراعی، کشت تلفیقی و زنبورداری و همچنین احیای معادن و اراضی رهاشده، گیاه‌پالایی و صنایع تولید سوخت‌های زیستی برخوردارند [۲۰۱]. یکی از گونه‌های مهم این جنس *Paulownia fortunei* (Seem) Hems. است که در مناطق چین، ویتنام و لائوس، با بارندگی حدود ۷۷۰ میلی‌متر می‌روید و به‌همراه *P. tomentosa* Steud. در مقایسه با دیگر گونه‌های پالونیا از

پالونیا، از انواع درختان تندرشد بومی و متعلق به تیره گل‌میمون (*Scrophulariaceae*) است و به‌طور عمده شامل نه‌گونه است [۱]. این درختان با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد و همچنین کاربردهای فراوان چوب، از پتانسیل

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۱۷۳۲۴۲۷۰۵۰، موبایل: ۰۹۱۱۲۷۸۱۴۷۰
Email: aliarab@gau.ac.ir

زمینه اثر تنش شوری بر گونه‌های پالونیا کاشته‌شده در ایران، به‌ویژه *Paulownia fortunei*، که از سالیان گذشته در جنگل آموزشی و پژوهشی شصت‌کلاته گرگان کاشته شده و محققان مختلف برای کاشت در شمال ایران توصیه کرده‌اند [۸]، تحقیق جامعی ارائه نشده است. از طرفی برخی اراضی آبی در دشت گرگان (استان گلستان) به‌رغم دارا بودن آب برای آبیاری با مشکل شوری خاک مواجه‌اند و ضروری است گونه تندرشد متناسب با شرایط محیط در اراضی کشت شود. با توجه به اینکه جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاه حساس‌ترین مرحله زندگی گیاه در مواجهه با تنش شوری است، تحقیق حاضر با هدف بررسی تأثیر شوری بر جوانه‌زنی بذر و صفات رویشی نهال‌های پالونیا فورتونی طراحی و اجرا شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور اجرای این آزمایش، بذرها در آبان ۱۳۹۲ از باغ گیاه‌شناسی جنگل آموزشی و پژوهشی دکتر بهرام‌نیا، پس از انتخاب ۱۰ اصله از درختان نخبه با ویژگی‌های ریختی برتر، جمع‌آوری و تا زمان کاشت (فروردین ۱۳۹۳) در یخچال با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. با توجه به تفاوت‌های رویشی گیاه در دو مرحله جوانه‌زنی و رشد، اثرگذاری شوری در این تحقیق در قالب دو آزمایش مجزا روی بذر و نهال انجام گرفت.

شرایط آزمایشگاه

در این آزمایش به‌منظور بررسی اثر تنش شوری بر مقدار جوانه‌زنی بذر پالونیا فورتونی، با استفاده از طرح آزمایشی کاملاً تصادفی با چهار تکرار، اثر پنج سطح شوری شامل شاهد (آب مقطر) و چهار غلظت متفاوت NaCl شامل محلول‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار انجام گرفت. بذرها در بستری با دو لایه کاغذ صافی واتمن و در پتری‌دیش قرار گرفت و با سطوح شوری مورد نظر آبیاری شد و تعداد ۱۰۰ عدد بذر با فواصل تقریباً مساوی از یکدیگر قرار گرفتند. در هر پتری‌دیش ۱۰ میلی‌لیتر از

رشد بیشتری در خاک‌های رسی با محتوای رس زیاد (حدود ۳۰ درصد) برخوردار است [۳]. براساس تحقیقات، درختان پالونیا خاصیت سازگاری داشته و انطباق مناسبی در برابر اسیدیته (۰/۵ تا ۸/۹) و دمای خاک (۲۰- تا ۴۷ درجه سانتی‌گراد) دارند، اما بافت سنگین، زهکشی ضعیف و شوری خاک ممکن است تأثیرات منفی بر عملکرد پالونیا داشته باشد [۴]. مدیریت مناسب رطوبت، عناصر مغذی و عدم شوری خاک، نقش مهمی در افزایش عملکرد پالونیا در جنگلکاری دارد [۳]. علاوه بر این، با شناخت واکنش پالونیا در برابر شوری، اطلاعات مناسبی برای به‌کارگیری این گونه در زراعت چوب و آگروفارستری، به‌ویژه در مناطق شمال ایران فراهم می‌آید. در استان گلستان به‌سمت شمال استان، شوری ناشی از آب‌های زیرزمینی و شرایط آب‌وهوایی، بهره‌برداری از خاک را دشوار و در برخی موارد ناممکن می‌سازد و در کرانه‌های ساحلی و شمالی جلگه گرگان، بیشتر آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌علت نزدیکی به دریا و جنس زمین، شورند [۵]. بنابراین به‌منظور حفاظت از نوار ساحلی و جنگلکاری در این مناطق، بررسی مقاومت به شوری نهال‌های پالونیا ضروری و حائز اهمیت است. با توجه به اهمیت موضوع، در سال‌های اخیر محققان مختلفی تأثیر تنش شوری را بر گونه‌ها و هیبریدهای پالونیا بررسی کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به تحقیقات Deng و همکاران (۲۰۱۳) [۶] روی واکنش‌های فیزیولوژیک نهال *P. fortunei* و هیبرید آن با *P. elongata* S.Y. Hu. تحقیق Stefanov و همکاران (۲۰۱۶) [۷] روی واکنش‌های فیزیولوژیک نهال *P. fortunei* و *P. australis* Gong Tong و تحقیق Chaires (۲۰۱۶) [۲] روی عملکردهای ژنتیکی *P. elongata* در مواجهه با تنش شوری اشاره کرد. در ایران تحقیقات مختلفی روی گونه پالونیا در زمینه‌های کاربردی همچون تأثیر فاصله کاشت بر مشخصات رویشی درختان پالونیا، زراعت چوب و بیشه‌زراعی با پالونیا و همچنین ویژگی‌های چوب پالونیا انجام گرفته است [۸]؛ اما تاکنون در

به‌همراه ۲۰ گرم ورمی‌کمپوست در هر گلدان) برای پر کردن گلدان‌ها، آبیاری بیش از ظرفیت زراعی در هر مرحله (۱۰۰ سی‌سی برای هر گلدان به‌صورت یک روز در میان) و شست‌وشوی دوره‌ای (۲۰ روزه) خاک با آب غیرشور انجام گرفت، طوری‌که آب اضافی از زیر گلدان‌ها خارج شد. به‌منظور کسب اطلاعات دقیق‌تر در مورد تغییرات شوری بستر کاشت نونهال‌ها طی آزمایش، از ابتدای آزمایش (تیر)، هدایت الکتریکی (EC) خاک هر ۳۰ روز یک‌بار تعیین و ثبت شد.

روش اندازه‌گیری

در شرایط آزمایشگاه، پس از شروع جوانه‌زنی بذرها، هر سه روز یک‌بار جوانه‌زنی با شمارش تعداد بذوری که طول ریشه‌چه آنها به بیش از ۲ میلی‌متر رسیده است، ثبت شد. با استفاده از اطلاعات حاصل، درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذور براساس روابط ۱ و ۲ محاسبه شد [۹]:

$$GP = (n/N) \times 100 \quad (1)$$

$$GS = \sum(n_i / t_i) \quad (2)$$

در روابط ۱ و ۲، n ، تعداد کل بذرهای جوانه‌زده طی دوره، N ، تعداد بذرهای کاشته‌شده، t_i ، تعداد روزهای پس از شروع جوانه‌زنی، n_i ، تعداد بذرهای جوانه‌زده در فاصله زمانی مشخص، GP ، درصد جوانه‌زنی و GS ، سرعت جوانه‌زنی را نشان می‌دهد.

در شرایط گلخانه، علاوه‌بر زنده‌مانی، صفات رویشی نهال‌ها شامل طول ساقه و طول ریشه‌های اصلی و فرعی با قطر بزرگ‌تر از ۱ میلی‌متر (با خط‌کش مدرج با دقت ۰/۱ متر) و وزن خشک ساقه و ریشه اندازه‌گیری شد. البته نتایج مقدار رشد نهال‌ها در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار به‌دلیل عدم زنده‌مانی کافی نهال‌ها (۱۶۷ درصد)، وارد تجزیه و تحلیل نشد. برای اندازه‌گیری وزن خشک ساقه و ریشه، اجزای مورد بررسی به‌مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۱۰۳ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند و سپس وزن آنها با ترازوی دیجیتالی (با دقت ۰/۰۰۱ گرم) اندازه‌گیری شد. به‌منظور تعیین سطح

محلول مورد نظر اضافه شد. آزمایش در چهار تکرار ۱۰۰ تایی انجام گرفت و پتری‌دیش‌ها در داخل ژرمیناتور در شرایط دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت ۷۰ درصد به مدت ۲۱ روز قرار گرفتند.

شرایط گلخانه

در فروردین ۱۳۹۳، بذرهای پالونیا فورتونی به‌شکل مخلوط با ماسه و به‌صورت یکنواخت در سینی‌های نشای پلی‌اتیلنی حاوی ترکیب ۱:۱:۱:۱ پرلیت، کوکوپیت، خاک و ماسه استریل شده کشت شدند. به‌منظور جلوگیری از خشک شدن سریع سطح خاک و حفظ رطوبت، لایه نازک پلاستیکی شفاف روی سینی‌های نشا کشیده شد و آبیاری هر روز پس از برداشتن این لایه به‌صورت اسپری دستی انجام گرفت. پس از جوانه زدن بذرها به مدت سه هفته در دمای ۲۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد گلخانه، نگهداری از نونهال‌ها تا چوبی شدن و رسیدن به اندازه مناسب برای بازکاشت ادامه یافت. در مرحله بازکاشت، نونهال‌ها به‌طور متوسط ۱۰ برگ و ۱۵ سانتی‌متر ارتفاع داشتند و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۶ تکرار در ۶۰ عدد گلدان پلاستیکی با قطر دهانه و کف ۱۷ و ۱۱ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۳ سانتی‌متر (۵ سطح شوری با ۶ تکرار ۲ تایی)، بازکاشت شدند و برای فرارگیری تحت تیمارهای آبیاری با آب شور، شامل غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار نمک NaCl خالص آماده شدند، سپس اعمال تیمارهای شوری از ماه تیر، به‌مدت سه ماه در طول فصل تابستان صورت پذیرفت. با توجه به اینکه در تحقیق حاضر یکسان ماندن غلظت نمک در سطوح شوری مورد نظر اهمیت بسیاری داشت، اقداماتی به‌منظور کاهش تبخیر سطحی و شست‌وشوی نمک باقی‌مانده در خاک و در نتیجه ثابت ماندن تقریبی هدایت الکتریکی (EC) خاک، صورت پذیرفت. کاهش تبخیر سطحی با پوشاندن سطح و بدنه گلدان‌ها با فویل آلومینیومی انجام گرفت و شست‌وشوی نمک باقی‌مانده در خاک با انتخاب بافت خاک کاملاً سبک (حاوی ۷۲ درصد شن، ۱۹ درصد رس و ۹ درصد سیلت

برگ از هر نهال یک برگ به‌طور تصادفی انتخاب و مساحت آن براساس روش Bradshaw و همکاران (۲۰۰۷) محاسبه شد [۱۰]. به‌منظور بررسی هدایت الکتریکی (EC) خاک از هر تیمار در طول اجرای آزمایش در سه مرحله (۱، ۲ و ۳ ماه پس از شروع آزمایش به‌ترتیب در روزهای اول مرداد، شهریور و مهر) به‌صورت ترکیبی و به‌وسیله لوله نازکی با قطر ۷ میلی‌متر نمونه‌گیری شد. نمونه خاک‌ها ابتدا در آزمایشگاه خشک و سپس از هر نمونه خاک به نسبت وزنی ۵:۱ خاک به آب (۶ گرم خاک و ۳۰ سی‌سی آب مقطر) مخلوط شد و پس از یک ساعت هم زدن با شیکر، با استفاده از دستگاه هدایت الکتریکی (EC متر) دیجیتالی (AZ* PH/mV/Cond./TDS/Temp.meter 86505) مقادیر هدایت الکتریکی نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

به‌منظور آنالیز آماری از نرم‌افزار SPSS استفاده شد، طوری که معنی‌دار بودن اثر شوری با استفاده از روش آنالیز واریانس یک‌متغیره در قالب طرح کاملاً تصادفی بررسی شد و در صورت رد شدن فرض صفر در این آزمون، مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن صورت گرفت. همگن بودن واریانس مشاهدات در تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون لون و نرمال بودن خطای مدل‌های تجزیه واریانس با آزمون شاپیرو-ویلک بررسی شد. در مورد مشخصه زنده‌مانی نهال‌ها در شرایط گلخانه، با توجه به رد فرض نرمال بودن باقی‌مانده‌های مدل، از روش ناپارامتریک کروسکال-والیس استفاده شد.

نتایج و بحث

تأثیرات تنش شوری بر جوانه‌زنی بذر در شرایط آزمایشگاه

از جمله تأثیرات منفی شوری بر گیاهان، اثرهایی است که در مرحله جوانه‌زنی بذر ظاهر شده و موجب کاهش جوانه‌زنی بذر می‌شود [۷]. نتایج تحقیق حاضر نشان داد

که در نبود شوری، بذور پالونیا فورتونی از درصد جوانه‌زنی مناسبی برخوردارند، طوری که در تیمار شاهد قوه نامیه (درصد جوانه‌زنی) ۸۹ درصد و سرعت جوانه‌زنی ۱۹ بذر در روز حاصل شد (شکل ۱). نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر تیمار شوری بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر پالونیا فورتونی در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است (جدول ۱). علاوه بر این، نتایج مقایسه میانگین‌ها این مطلب را تأیید کرد که با افزایش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، به‌طوری که درصد جوانه‌زنی در غلظت ۵۰ میلی‌مولار با ۴/۵ درصد کاهش، تفاوت معنی‌داری با شاهد نداشت. درصد جوانه‌زنی در تیمارهای ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۲۵/۸، ۶۱/۸ و ۹۵/۸ درصد نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت (شکل ۱-الف و جدول ۲). بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار شاهد با ۱۹/۰۴ در روز محاسبه شد. همچنین سرعت جوانه‌زنی در غلظت‌های ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به‌ترتیب ۷/۴، ۱۱/۰، ۱۵/۴ و ۹۸/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۱-ب و جدول ۲). دلیل به‌وجود آمدن چنین کاهش شدیدی در جوانه‌زنی بذور این است که شوری به‌عنوان عامل محیطی مؤثر بر درصد جوانه‌زنی، علاوه بر سمومیتی که ممکن است در گیاه ایجاد کند، سبب منفی‌تر شدن پتانسیل اسمزی نیز می‌شود، طوری که افزایش غلظت نمک به کند شدن جذب آب توسط بذر و در نتیجه ممانعت از جوانه‌زنی و رشد ریشه‌چه منجر می‌شود [۱۱]. علاوه بر این، شوری ممکن است مانع فعالیت برخی از آنزیم‌های مؤثر جوانه‌زنی شود و در نتیجه درصد و سرعت جوانه‌زنی را کاهش دهد [۱۲]. براساس نتایج مطالعات کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی با کاهش جذب آب توسط بذر در مرحله آب‌گیری و تورژسانس ارتباط دارد [۱۳]، به‌طوری که با افزایش شوری

تأثیرات تنش شوری بر زنده‌مانی و رشد نهال‌ها در شرایط گلخانه

نتایج بررسی تغییرات مقادیر هدایت الکتریکی (EC) خاک در دوره آزمایش نشان داد که شوری خاک در طول زمان اجرای آزمایش، تغییرات زیادی نداشته است و بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از روش‌های به‌کاررفته برای کنترل تبخیر و شست‌وشوی دوره‌ای نمک از خاک، به‌خوبی از انباشتگی نمک در خاک گلدان جلوگیری کرده‌اند، به‌طوری‌که حداکثر افزایش مقادیر هدایت الکتریکی در مرحله سوم نمونه‌برداری (مهر) نسبت به شروع آزمایش ۲/۵ دسی‌زیمنس بر متر بوده است (جدول ۳).

در محیط جوانه‌زنی بذر، فرایند جذب آب دچار اختلال می‌شود یا به‌کندی صورت می‌گیرد، از این رو فعالیت‌های فیزیولوژیکی داخل بذر نیز به آرامی صورت می‌پذیرد و مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش و در نتیجه سرعت جوانه‌زنی بذرها کاهش می‌یابد.

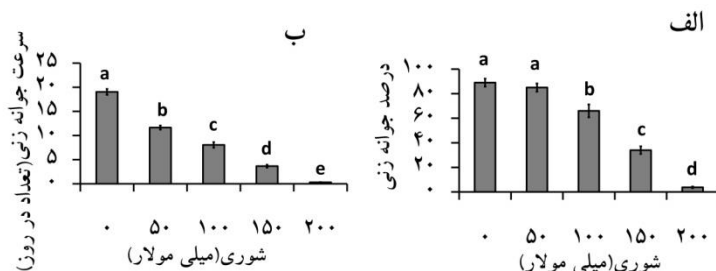
جدول ۱. مقادیر میانگین مربعات حاصل از تجزیه واریانس مشخصه‌های جوانه‌زنی بذر پالونیا فورتونی

منابع تغییرات	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی
شوری	۰/۷۶**	۲۱۱/۸**
خطای آزمایشی	۰/۰۰۹	۰/۷۰۰
ضرب تغییرات (درصد)	۱۱/۳	۱۰/۴

علامت ** نشان‌دهنده اثر معنی‌داری در سطح احتمال (α=۰/۰۱) است.

جدول ۲. مقادیر کاهش مشخصه‌های جوانه‌زنی بذر پالونیا فورتونی در تیمارهای شوری نسبت به تیمار شاهد

غلظت NaCl	کاهش درصد جوانه‌زنی		کاهش سرعت جوانه‌زنی	
	مقدار	درصد نسبت	مقدار	درصد نسبت
۵۰	۴/۰	۴/۵	۷/۴	۳۸/۸
۱۰۰	۲۳/۰	۲۵/۸	۱۱/۰	۵۷/۷
۱۵۰	۵۵/۰	۶۱/۸	۱۵/۴	۸۰/۸
۲۰۰	۸۵/۲	۹۵/۸	۱۸/۷	۹۸/۴

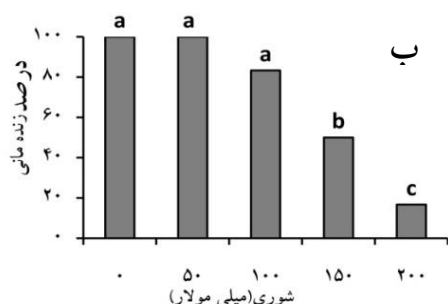


شکل ۱. اثر تنش شوری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر پالونیا فورتونی در شرایط آزمایشگاه (حروف یکسان، نشان‌دهنده نبود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد است)

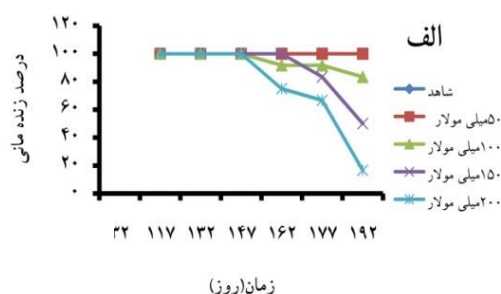
جدول ۳. مقادیر هدایت الکتریکی (EC) برحسب دسی‌زیمنس بر متر خاک گلدان‌ها تحت تیمارهای مختلف شوری در سه مرحله اندازه‌گیری در شرایط گلخانه

شوری (میلی‌مولار)	شروع آزمایش (تیر)	مرحله اول (مرداد)	مرحله دوم (شهریور)	مرحله سوم (مهر)
شاهد	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
۵۰	۱/۰	۱/۵	۱/۵	۲/۰
۱۰۰	۱/۰	۱/۹	۱/۹	۲/۷
۱۵۰	۱/۰	۲/۰	۲/۰	۳/۲
۲۰۰	۱/۰	۲/۵	۲/۵	۳/۵

۱۰۰ میلی‌مولار با ۱۶/۷ درصد کاهش نسبت به شاهد و زنده‌مانی در تیمار ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌مولار به ترتیب با ۵۰ و ۸۳/۳ درصد کاهش اختلاف معنی‌داری با شاهد نشان داد (شکل ۲-ب). این یافته در راستای نتایج Ayala-Astorga و همکاران (۲۰۰۹) [۱۴] است، که ظهور علائم نکروز و مرگ کامل نهال‌های پالونیا (*P. fortunei*) و *P. imperialis* را با افزایش غلظت کلرید سدیم در سطوح بالاتر از ۶۰ میلی‌مولار در محیط کشت، نتیجه گرفتند. در این زمینه نتایج مطالعات دیگر محققان نیز نشان می‌دهد که زنده‌مانی را می‌توان برابندی از تمام واکنش‌های فیزیولوژیک و رشدی گیاه نسبت به عامل تنش‌زا در نظر گرفت و شوری از طریق تقویت نیروی مکشی خاک اطراف ریشه و در نتیجه اختلال در روابط آبی نهال و همچنین افزایش جذب یون‌ها و تجمع یونی در اندامک‌های مختلف سلول‌های برگ و ایجاد مسمومیت، این متغیر را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۵] که سبب کاهش زنده‌مانی نهال و در غلظت‌های زیاد شوری، موجب مرگ آن می‌شود. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که اثر تیمار شوری بر سطح برگ، وزن خشک ریشه، ریشه فرعی و اصلی و همچنین نسبت وزن خشک ریشه به ساقه در سطح اعتماد ۹۹ درصد و بر پارامترهای طول و وزن خشک ساقه در سطح اعتماد ۹۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۴).



بررسی روند تغییرات زنده‌مانی نهال‌ها در تیمارهای مختلف شوری نشان داد که تنش شوری موجب کاهش زنده‌مانی نهال‌ها در دوره آزمایش شده است (شکل ۲-الف)، البته مقدار ۱۰۰ درصد زنده‌مانی در تمامی تیمارها از شروع آزمایش شوری در تیر (روز ۱۱۷) تا مرداد (روز ۱۴۷) وجود داشت. نهال‌های پالونیا در تیمارهای شاهد و ۵۰ میلی‌مولار تا پایان آزمایش، یعنی مهرماه (روز ۱۹۲)، مقدار ۱۰۰ درصد زنده‌مانی را نشان دادند، درحالی‌که زنده‌مانی نهال‌ها در تیمارهای ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار تا شهریور (روز ۱۷۷) تغییر زیادی نداشت، اما در مهرماه (روز ۱۹۲)، به ترتیب به ۸۳/۴ و ۵۰/۰ درصد رسید. در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار نیز از شهریورماه (روز ۱۷۷) کاهش چشمگیری در زنده‌مانی نهال‌ها (۲۵ درصد کاهش) رخ داد و در انتهای آزمایش (مهرماه) مقدار آن به حداقل خود (۱۶/۶ درصد) کاهش یافت (شکل ۲-الف). علاوه بر این، نتایج آزمون کروسکال والیس نشان داد که اثر تیمار شوری بر زنده‌مانی نهال‌ها در سطح اعتماد ۹۹ درصد معنی‌دار بوده است ($p = 0/000$ و $\chi^2(4) = 73/971$). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تنش شوری تأثیر معنی‌داری بر زنده‌مانی نهال‌ها داشت، به طوری‌که با افزایش شوری، زنده‌مانی به طور معنی‌داری کاهش یافت (شکل ۲-ب). بیشترین زنده‌مانی (۱۰۰ درصد) مربوط به تیمار شاهد و ۵۰ میلی‌مولار بود. درصد زنده‌مانی در تیمار



شکل ۲. روند تغییرات درصد زنده‌مانی طی زمان. (الف) مقدار درصد زنده‌مانی؛ (ب) نونهال‌های پالونیا فورتونی تحت تنش شوری

جدول ۴. نتایج تجزیه واریانس صفات رویشی نهال‌های پالونیا فورتونی تحت تنش شوری

منابع تغییرات	طول ساقه (سانتی‌متر)	وزن خشک ساقه (گرم)	سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	وزن خشک ریشه (گرم)	وزن خشک ریشه اصلی (گرم)	وزن خشک ریشه‌های فرعی (گرم)	نسبت وزن خشک ریشه به ساقه
شوری	۵۳/۷۰*	۰/۵۰*	۲۹۱۷۱۴/۹۰**	۹/۵۰**	۱/۵۰**	۰/۹۰**	۱/۶۰**
خطای آزمایشی	۱۱/۴	۰/۰۹	۵۶۰۰۴/۰۱	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰
ضریب تغییرات (درصد)	۱۰/۵	۲۰/۷	۴۸/۷	۲۷/۰	۲۱/۱	۵۸/۹	۲۵/۱

علامت‌های ** و * نشان‌دهنده اثر معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد است.

موجب کاهش طول و وزن خشک ساقه و ریشه نهال‌های پالونیا نیز شده است (جدول ۵). این یافته نیز با نتایج Miladinova و همکاران (۲۰۱۳) [۱۶] مطابقت دارد. به‌طور کلی، کاهش وزن خشک ریشه ارتباط مستقیم با کاهش سطح و حجم ریشه دارد که در جذب آب و مواد غذایی از محیط (خاک) نقش مهمی دارد [۱۸]. با توجه به اینکه جذب آب و مواد غذایی در گیاهان از طریق ریشه‌ها انجام می‌گیرد [۱۸]، می‌توان گفت که کاهش وزن خشک و طول ریشه‌ها از طرفی موجب کاهش سطح تماس ریشه‌ها با خاک و در نتیجه کاهش جذب مواد غذایی و آب شده و در نهایت به کاهش رشد نهال منجر شده است. علاوه‌بر این، مقایسه میانگین‌ها نشان داد تمامی ویژگی‌های رویشی نهال‌ها با اعمال نخستین سطح شوری (۵۰ میلی‌مولار) نسبت به تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند، اما با افزایش شوری در سطوح ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌مولار تغییر معنی‌داری در صفات رویشی نهال‌ها ایجاد نشد (جدول ۵).

همچنین نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که شوری در غلظت‌های ۵۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار بر سطح برگ نهال‌ها اثر منفی معنی‌داری داشته است (جدول ۵)، این یافته با نتایج Miladinova و همکاران (۲۰۱۳) و Ivanova و همکاران (۲۰۱۴) همسوست [۱۶، ۱۷]. کاهش سطح برگ نهال‌ها تحت تنش شوری می‌تواند بر اثر کاهش محتوای آب برگ و در نتیجه کاهش سرعت تقسیم سلولی و کم شدن سرعت تولید شدن سلول‌های برگ به‌وجود آمده باشد [۱۸]. از آنجا که برگ‌ها تنها کارخانه سازنده مواد آلی در گیاهان محسوب می‌شوند، کاهش سطح برگ اثر مستقیم روی دیگر فرایندهای رویشی گیاهان دارد [۱۵]، طوری‌که با کاهش سطح برگ نهال در اثر تنش‌های محیطی مقدار نور دریافتی نهال، کارایی فتوسنتز، روابط آبی گیاه و مقدار جذب عناصر تغذیه‌ای با محدودیت جدی مواجه می‌شوند و رشد نهال کاهش می‌یابد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد شوری علاوه‌بر تأثیر منفی بر سطح برگ نهال‌ها، در غلظت‌های ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌مولار،

جدول ۵. مقادیر میانگین مشخصه‌های رشد نهال‌های پالونیا فورتونی تحت تنش شوری

صفات	سطوح شوری (میلی‌مولار)			
	۲۰۰	۱۵۰	۱۰۰	۵۰
طول ساقه (سانتی‌متر)	۳۷/۰ ^a	۲۹/۶ (٪۲۰/۱۰) ^b	۳۰/۵۳ (٪۱۷/۵) ^b	۲۹/۹۷ (٪۱۹/۰) ^b
وزن خشک ساقه (گرم)	۱/۹۰ ^a	۱/۲۷ (٪۳۳/۲۰) ^b	۱/۳۱ (٪۳۱/۰) ^b	۱/۳۱ (٪۳۶/۳) ^b
سطح برگ (سانتی‌متر مربع)	۶۹۲/۱۶ ^a	۳۶۶/۷۱ (٪۴۷/۰) ^b	۴۵۹/۶۸ (٪۳۳/۶) ^{ab}	۲۰۲/۴ (٪۷۰/۸) ^b
وزن خشک ریشه (گرم)	۴/۰۹ ^a	۱/۶۵ (٪۵۹/۷) ^b	۱/۴۸ (٪۶۳/۸) ^b	۰/۸۵ (٪۷۹/۲) ^b
وزن خشک ریشه اصلی (گرم)	۱/۷۵ ^a	۰/۷۶ (٪۵۶/۶) ^b	۰/۶۴ (٪۶۳/۴) ^b	۰/۵۵ (٪۶۸/۶) ^b
وزن خشک ریشه‌های فرعی (گرم)	۱/۳۱۶ ^a	۰/۳۴ (٪۷۰/۷) ^b	۰/۴۶ (٪۶۰/۳) ^b	۰/۲۳ (٪۸۰/۲) ^b
نسبت وزن خشک ریشه به ساقه	۲/۱۶ ^a	۱/۳۰ (٪۳۹/۸) ^b	۱/۱۳ (٪۴۷/۷) ^b	۰/۷۰ (٪۶۷/۷) ^b

NT به دلیل عدم زنده‌مانی کافی نهال‌ها آنالیز نشد. اعداد داخل پرانتز مندرج در جدول، درصد کاهش میانگین نسبت به تیمار شاهد را نشان می‌دهند.

در این زمینه Munus و Tester (۲۰۰۸) [۱۹] ضمن بررسی مکانیسم مقاومت به شوری گیاهان اظهار داشتند که واکنش صفات رویشی گیاه نسبت به شوری در دو مرحله متوالی انجام می‌گیرد. در مرحله اول که در اینجا در غلظت ۵۰ تا ۱۵۰ میلی‌مولار رخ داد، علت اصلی کاهش رشد گیاه تأثیرات اسمزی نمک و کاهش قدرت جذب آب توسط گیاه است. در این مرحله تغییرات اسمزی موجب کند شدن یا توقف رشد برگ‌های جوان و کاهش رشد طولی ساقه می‌شود. اما در مرحله دوم که به‌طور معمول، تأثیرات آن در گیاهان متحمل به شوری در غلظت‌های زیاد ظاهر می‌شود، تأثیرات ویژه یونی و انباشتگی Na^+ و Cl^- در برگ‌ها موجب سمیت و اختلال در سیستم‌های غشایی و آنزیمی شده و مانع جذب عناصر ضروری گیاه می‌شود و در نهایت به مرگ می‌انجامد [۲۰]. در این مرحله رقابت یون‌های Na^+ و Cl^- با عناصر مغذی مانند K^+ ، Ca^{2+} و NO_3^- آغاز می‌شود و ضمن تسریع پیری برگ‌های بالغ، کاهش رشد و استحکام دیواره‌های سلولی، مشکلات جدی در تنظیم اسمزی، فتوسنتز و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه به‌وجود می‌آید [۱۷]. نتایج تحقیق حاضر نشان داد در تیمار ۲۰۰ میلی‌مولار که نزدیک به غلظت آستانه تحمل گیاه به شوری است، با کاهش شدید زنده‌مانی نهال‌ها (۱۶۷ درصد) و در نتیجه کافی نبودن تعداد نهال‌ها برای تجزیه و تحلیل، امکان بررسی کاهش مقادیر مشخصه‌های رویشی نهال وجود نداشت (جدول ۵). از این‌رو می‌توان گفت که در سطوح شوری بالاتر از ۱۵۰ میلی‌مولار، اثرهای ویژه یونی ظاهر می‌شود و عملکرد نهال‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که پالونیا فورتونی در سال اول رشد، نسبت به شوری مقاومت نسبی نشان می‌دهد و از این نظر می‌توان نهال‌های یکساله این گونه را نیمه‌بردبار (نیمه‌متحمل) به شوری معرفی کرد [۲۰]. در تأیید این مطلب می‌توان به نتایج تحقیقات صورت‌گرفته در زمینه تأثیرات شوری بر روی دیگر گونه‌ها و وارثه‌های پالونیا، از جمله *P. tomentosa* و هیبرید آن با *P. fortunei* [۲۰] و هیبریدهای

P. kawakarnii و *P. fortunei elongata* [۱۶] اشاره کرد. البته تحقیقات مذکور ضمن تأیید یافته‌های تحقیق حاضر، تفاوت واکنش گونه‌ها، هیبریدها و کلن‌های مختلف پالونیا را در مواجهه با تنش شوری تأیید کرده‌اند و از این نظر تحقیقات تکمیلی و جامع در این زمینه راهگشا خواهد بود. بر این اساس پیشنهاد می‌شود به‌منظور روشن شدن مکانیسم مقاومت به شوری نهال‌های پالونیا، در ادامه، تحقیقات فیزیولوژیک تکمیلی در این زمینه صورت پذیرد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، پالونیا فورتونی در مراحل اولیه حیات خویش (بذر و نهال به تنش شوری حاصل از غلظت‌های مختلف کلرید سدیم و واکنش‌های متفاوتی را نشان می‌دهد، طوری که می‌توان براساس ویژگی‌های مختلف، جوانه‌زنی بذر، زنده‌مانی و رشد نهال‌های یکساله، حدود مختلفی را برای شروع اثرگذاری معنی‌دار شوری بر ویژگی‌های متفاوت این گونه در مراحل اولیه رشد گزارش کرد. کاهش معنی‌دار سرعت جوانه‌زنی بذر و صفات رویشی نهال‌ها از غلظت ۵۰ میلی‌مولار آغاز شده و کاهش معنی‌دار درصد جوانه‌زنی بذر و زنده‌مانی نهال‌ها به‌ترتیب از ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی‌مولار شروع می‌شود. براساس نتایج تحقیق حاضر، پیشنهاد می‌شود امکان استفاده از آب‌های شور در پرورش نهال پالونیا فورتونی در سطح وسیع‌تر آزمایش و عملکرد رویشی نهال‌ها در غلظت‌های مختلف کلرید سدیم تعیین شود. از این‌رو با استفاده از اطلاعات حاصل می‌توان در مناطقی که شوری آب و خاک معضلی برای استفاده از این گونه محسوب می‌شود، با کنترل غلظت کلرید سدیم ریزوسفر در حد آستانه تحمل گیاه، به تکثیر و پرورش نهال این گونه پرداخت. تعیین تأثیرات تعدیل‌کننده عناصر غذایی و پرایمینگ بذر در افزایش بردباری پالونیا نسبت به تنش شوری اطلاعات ارزشمندی را فراهم می‌آورد که پرداختن به آن در تحقیقات آینده توصیه می‌شود.

References

- [1]. Ayan, S. and Bilir, N. (2006). Growth variation of *Paulownia* Sieb and Zucc. species and origins at the nursery stage in Kastamonu-Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 27(3): 499-504.
- [2]. Chaires, M. (2016). Functional analysis of salt stress induced genes from *Paulownia elongata*. Dissertation, California State University, Northridge.
- [3]. García-Morote, F. A., López-Serrano, F. R., Martínez-García, E., Andrés-Abellán, M., Dadi, T., Candel, D., Rubio, E., and Lucas-Borja, M.E. (2014). Stem biomass production of *Paulownia elongata* × *P. fortunei* under low irrigation in a semi-arid environment. *Forests*, 5(10): 2505-2520.
- [4]. Barton, I. L., Nicholas, I. D., and Ecroyd, C. E. (2007). *Paulownia*. Forest Research Bulletin, No. 231, Newzealand Forest Research Institute.
- [5]. Roshani, Gh., and Gharanjiki, A.R. (2014). Preparing digital maps of soil fertility for centers of agricultural service in Golestan province using Kriging method. *Journal of Agricultural Engineering*, 37(2): 87-99.
- [6]. Deng, M. J., Zhang, X. S., Fan, G. Q., Zhao, Z. L., Dong, Y.P. and Wei, Z. (2013). Physiological responses to salt stress of tetraploid *Paulownia australis* and *Paulownia fortunei* plants. *Journal of Henan Agricultural University*, 47(6):698-702.
- [7]. Stefanov, M., Yotsova, E., Rashkov, G., Ivanova, K., Markovska, Y., and Apostolova, E. L. (2016). Effects of salinity on the photosynthetic apparatus of two *Paulownia* lines. *Plant Physiology and Biochemistry*, 101:54-59.
- [8]. Saeedi, Z., and Azadfar, D. (2010). Effect of spacing on growth characteristics of *Paulownia fortunei*
- [9]. Panwar, P., and Bhardwaj, S. D. (2005). Handbook of practical forestry. Agrobios, India.
- [10]. Bradshaw, J. D., Rice, M. E., and Hill, J. H. (2007). Digital analysis of leaf surface area: effects of shape, resolution, and size. *Journal of the Kansas Entomological Society*, 80(4):339-347.
- [11]. Shiri, M. A., and Bakhshi, D. (2011). Effect of salinity stress on some seed germination indices in sour orange (*Citrus aurantium*). *Journal of Crop Production and Processing*, 1(1):1-9.
- [12]. Yang, C., and Li, G. (2014). Effect of NaCl stress on germination of birch seeds. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(6):1980-1986.
- [13]. Izadi-Darbandi, E., Mohammadian, M., Yanegh, A., and Zarghani, H. (2012). The Effects of temperature and salinity on germination and seedling growth characteristics of sesame (*Sesamum indicum*) landraces. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 10(2):335-345.
- [14]. Ayala-Astorga, G. I., Alcaraz-Melendez, L., Ayala, F. P., and Castellanos, A. E. (2009). Effect of sodium chloride stress in *Paulownia imperialis* (Siebold & Zaccarini) and *Paulownia fortunei* (Seemann & Hemsley) plant growing in vitro. *Agrochimica*, 53(2):65-78.
- [15]. Daneshvar, H. A., and Modirrahmati, A. R. (2009). Effects of NaCl and CaCl₂ on growth characteristics and ions accumulation in the leaves of four poplar genotypes. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 17(2):200-209.
- [16]. Miladinova, K., Ivanova, K., Georgieva, T., Geneva, M., and Markovska, Y. (2013). The salinity effect on morphology and pigments content in three *Paulownia* clones grown ex vitro. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 19(2):52-56.
- [17]. Ivanova, K., Dimitrova, V., Georgieva, T., and Markovska, Y. (2014). Effect of soil salinity on growth, gas exchange and antioxidant defense of two *Paulownia* lines. *Genetics and Plant Physiology*, 3-4.
- [18]. Gregory, P. J. (2006). Plant roots growth, activity and interaction with soil. Blackwell Publishing.
- [19]. Munus, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25:239-250.
- [20]. Galeshi, S. (2015). Effect of environmental stresses on plants: drought, salinity, heat and flooding (Volume 1). Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Publishing.

Effect of salinity on seed germination, growth and survival of *paulownia fortunei* seedlings under laboratory and greenhouse conditions

H. Sheikh; M.Sc., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

A. R. Ali-Arab*; Assist. Prof., Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, I.R. Iran

S. E. Sadai; Research Assist. Prof., Center of Agricultural and Natural Resources Research of Mazandaran, Sari, I.R. Iran

(Received: 6 August 2017, Accepted: 5 November 2017)

ABSTRACT

Fortune's Empress Tree (*Paulownia fortunei*) is one of important exotic and fast growing tree species in Iran, that salinity stress can affect its seed germination and seedling growth. In this study, for determining the response of this species under salinity stress, effects of 5 salinity treatments in different NaCl concentrations (0, 50, 100, 150 and 200 mM) on seed germination, survival and growth characteristics of *Paulownia fortunei* seedlings were investigated under laboratory and greenhouse conditions. In laboratory conditions, seed germination was conducted with 4 replicates and 5 salinity treatments based on a completely randomized design. In the greenhouse conditions, growth and survival of *P. fortunei* container seedlings were conducted with 6 replicates and 5 salinity treatments, based on a completely randomized design for one growing season. The results showed that in the absence of salinity, germination percentage (GP) and germination speed (GS) of *P. fortunei* seeds reached to 89% and number of 19 seeds per day, respectively. GP did not significantly decrease until 100 mM NaCl, but GS began to decrease significantly from 50 mM and reached to its lowest value at 200 mM NaCl concentration. Survival of seedlings showed a significant difference with control (non-saline) at 150 and 200 mM NaCl concentrations with 50% and 83.3% reduction, respectively. Moreover, a significant decrease began in vegetative characteristics of seedlings from 50 mM concentration, but there was no significant difference at concentrations of 50 to 150 mM NaCl.

Keywords: Salinity stress, *Paulownia fortunei*, Seed germination, Seedling growth, Survival

* Corresponding Author, Email: aliarab@gau.ac.ir, Tel: +989112781470