جنگل و فرآورده‌های چوب، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۶۸، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴
ص ۷۷-۸۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۲۳

اثر اسموپرایمینگ بر صفات جوانه‌زنی بذر تحت تنش شوری کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.)

❖ **زینب جوانمرد؛** دانش‌آموختهٔ کارشناسی‌ارشد جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
❖ **مسعود طبری کوچکسرایی*؛** استاد گروه جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
❖ **حمیدرضا عیسوند؛** استادیار گروه زراعت، دانشگاه لرستان، دانشکدهٔ کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
❖ **فاطمه احمدلو؛** دانشجوی دکتری جنگلداری دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

چکیده

این تحقیق در پاسخ به اینکه اسموپرایمینگ صفات جوانه‌زنی بذر تحت تنش شوری کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.)، را ترقی می‌دهد، انجام گرفت. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار صورت گرفت. تیمار اسموپرایمینگ با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ با پتانسیل اسمزی ۲-، ۴-، ۶-، ۸- بار (به مدت ۷۲ ساعت) و پرایم‌نشده (شاهد)، و تنش شوری با استفاده از کلرید سدیم در هشت سطح ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۴۰ و ۲۸۰ میلی مولار اعمال شد. نتایج نشان داد که اسموپرایمینگ، شوری و تأثیر توأم آنها روی شاخص‌های جوانه‌زنی بذر معنی‌دار بود. جوانه‌زنی بذرهای پرایم‌نشده در شوری بیشتر از ۱۶۰ میلی‌مولار متوقف شد، ولی در بذرهای پرایم‌شده تا شوری ۲۸۰ میلی‌مولار ادامه یافت. در همهٔ سطوح شوری، بذرهای پرایم‌شده (به‌ویژه در پتانسیل اسمزی ۲- بار) دارای سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیهٔ بیشتر، و تغییرات کاهشی کمتری در درصد نسبی جوانه‌زنی بودند که بیانگر تأثیر مثبت اسموپرایمینگ روی بهبود صفات جوانه‌زنی بذر تحت تنش شوری کاج تهران است.

واژگان کلیدی: پتانسیل اسمزی، پلی‌اتیلن‌گلایکول، شاخص بنیه بذر، قدرت جوانه‌زنی، کلرید سدیم.

* نویسندهٔ مسئول تلفن: ۰۹۱۱۲۲۴۶۲۵۰
Email: mtabari@modares.ac.ir

مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکنندهٔ رشد، در بسیاری از گیاهان است که حدود ۵ تا ۱۰ درصد از اراضی قابل کشت جهان و تقریباً ۲۵/۵ میلیون هکتار از مساحت کشور را در بر می‌گیرد [۱]. از طرفی، جوانه‌زنی یکی از بحرانی‌ترین و حساس‌ترین مراحل رشد بسیاری از گیاهان در مواجهه با تنش شوری است. این مرحله از رشد گیاه، فرایند کلیدی در سبز شدن نهال تلقی می‌شود که موفقیت در این مرحله شانس استقرار نهال را در شرایط نامساعد از جمله تنش شوری، افزایش می‌دهد [۲]. همچنین، به‌عنوان یک فرایند فیزیولوژیکی پیچیده، نیازمند جذب رطوبت، دمای مناسب و اکسیژن کافی است [۳]. در میان عوامل ذکرشدهٔ مؤثر بر فرایند جوانه‌زنی، رطوبت مهم‌ترین عامل به‌شمار می‌رود، به‌طوری‌که با جذب آب توسط بذر، فعالیت‌های بیوشیمیایی (مانند فعال شدن آنزیم‌ها، هورمون‌ها، سنتز پروتئین‌ها، هیدرولیز مواد اندوخته‌ای و انتقال آن‌ها) و تقسیم سلولی شروع می‌شود و جوانه‌زنی به‌وقوع می‌پیوندد [۴]. این در حالی است که شوری از طریق کاهش فشار اسمزی (اختلال در جذب آب)، سمیت یونی (صدمات ناشی از ورود یون‌ها، که به‌طور غالب Na^+ و CL^- هستند)، تغییر در میزان تنظیم‌کننده‌های رشد بذر و تأثیر در جذب عناصر غذایی سبب کاهش و تأخیر در جوانه‌زنی یا حتی در تنش‌های زیاد، سبب توقف کامل آن می‌شود [۵].

در زمینهٔ تأثیر تنش شوری روی جوانه‌زنی بذر گونه‌های جنگلی تحقیقات زیادی صورت گرفته است. از جمله هوانگ و همکاران [۶] با اعمال ۱۰ سطح شوری ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۰۰ و ۱۴۰۰ میلی‌مولار بر لیتر روی *Haloxylon ammodendron*، نتیجه گرفتند که با افزایش شوری درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت و در غلظت ۱۴۰۰ میلی‌مولار جوانه‌زنی متوقف شد. مطالعهٔ گاناتساس و تساکالدیمی [۷] روی *Pinus pinea* در بررسی تأثیر پنج سطح شوری ۰، ۲۰، ۵۰، ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌مولار بر لیتر نشان داد که با افزایش غلظت شوری، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه روند کاهشی داشتند و در تنش‌های بیشتر از ۲۰ میلی‌مولار هیچ جوانه‌زنی دیده نشد. کیانی اَبَری و همکاران [۸] در بررسی تأثیرات شوری با غلظت‌های ۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰، ۳۰۰ و ۳۵۰ میلی‌مولار بر لیتر روی *Acacia tortilis* و *A. oerfota* نتیجه گرفتند که با افزایش غلظت شوری کاهش معنی‌داری در سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی مشاهده شد، به‌طوری‌که جوانه‌زنی *A. oerfota* در غلظت ۳۵۰ میلی‌مولار و *A. tortilis* در غلظت ۳۰۰ میلی‌مولار به‌طور کامل متوقف شد.

با توجه به تأثیرات سوء تنش شوری روی جوانه‌زنی بذر و نیاز به احیای اراضی فاقد پوشش گیاهی در مناطق شور، راهکارهای متعددی در بیشتر کشورهای دنیا در خصوص استفاده از فناوری‌های ساده و کم‌هزینه مطرح شده است. یکی از روش‌ها، پرایمینگ بذر است که به‌عنوان روشی فیزیولوژیک ساده و ارزان می‌تواند برای افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، بهبود استقرار گیاهچه، بردباری به شرایط محیطی غیر اپتیمم (از جمله تنش خشکی، شوری و دامنهٔ دمایی وسیع‌تر) و بازسازی سلول‌های

آسیب‌دیده به‌کار گرفته شود. سازوکار عمل این روش به این صورت است که طی آن، مقدار آب جذب‌شده توسط بذر در محلول‌های اسمزی یا آب مقطر تا حدی است که فعالیت‌های فیزیکی و شیمیایی قبل از جوانه‌نی تکمیل می‌شود، ولی از خروج ریشه‌چه جلوگیری به‌عمل می‌آید [۹، ۱۰]. میزان جذب آب طی پرایمینگ به نوع مادهٔ اسمزی، پتانسیل اسمزی محلول، مدت زمان تیمار پرایمینگ، گونه، کیفیت و ذخایر بذر وابسته است [۱۰]. در این میان، روش اسموپرایمینگ که از رایج‌ترین روش‌های پرایمینگ است، معمولاً با استفاده از مواد اسمزی با وزن مولکولی بالا (مانند پلی‌اتیلن‌گلایکول (PEG) ۶۰۰۰) و نیز قندهای غیرمتابولیک با وزن مولکولی کم (مانند مانیتول و سوربیتول) صورت می‌گیرد [۹].

با وجود گزارش‌های متعدد طی سال‌های اخیر، در خصوص کارایی روش پرایمینگ به‌منظور بهبود جوانه‌زنی بذر، تاکنون فقط چند گزارش در خصوص اثر آن روی گونه‌های جنگلی دریافت شده است. نگلریتر و همکاران [۱۱] در بررسی اثر اسموپرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر *Pinus sylvestris* و *Larix deciduas* مشاهده کردند که بذرهای پرایم‌شده از سرعت جوانه‌زنی بیشتری برخوردار بودند. از طرفی در تحقیق برانکالیون و همکاران [۱۲] همهٔ بذرهای پرایم‌شده *Mimosa bimucronata* با پتانسیل اسمزی ۸- بار به‌مدت‌های ۱۱، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت، نسبت به بذرهای پرایم‌نشده از درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچهٔ بیشتری برخوردار بودند. نتایج بررسی تیمار اسموپرایمینگ با پتانسیل اسمزی ۸- بار به‌مدت زمان‌های ۵۶ و ۸۸ ساعت بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر *Guazuma ulmifolia* Lam. توسط برانکالیون و همکاران [۱۳] بیانگر آن است که اعمال این تیمار، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را بهبود بخشید.

در زمینهٔ تأثیر تیمار اسموپرایمینگ به‌منظور ایجاد مقاومت به شرایط تنش، به‌ویژه تنش شوری، مطالعات زیادی روی گونه‌های زراعی و مرتعی و کمتر روی گونه‌های جنگلی صورت گرفته است. از جمله طویلی و همکاران [۱۴] با آزمایش اسموپرایمینگ روی بذرهای تحت تنش شوری *Bromus inermis* و *B. tomentellus* نتیجه گرفتند که بذرهای پرایم‌شده از شاخص‌های جوانه‌زنی بالاتری برخوردار بودند. زانگ و همکاران [۱۵] در بررسی روی *Lycopersicon esculentum* M. مشاهده کردند که اسموپرایمینگ سبب افزایش جوانه‌زنی بذرهای پرایم‌شده در مقایسه با بذرهای پرایم‌نشده تحت تنش شوری شد. در بررسی روی *Melissa officinalis* L.، مکی‌زاده و همکاران [۱۶] نتیجه گرفتند که اسموپرایمینگ موجب افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای پرایم‌شده نسبت به بذرهای پرایم‌نشده در شرایط تنش شوری شد.

با توجه به پتانسیل بالای کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) برای استفاده در فضای سبز شهری و نیاز روزافزون به تولید چوب آن در کوتاه‌مدت، و همچنین اهمیت جوانه‌زنی بذر آن در خاک‌های متمایل به شور نهالستان‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور، پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر اسموپرایمینگ بر برخی صفات جوانه‌زنی بذر تحت تنش شوری آن در شرایط آزمایشگاه انجام گرفته است.

روش تحقیق

پژوهش حاضر به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی در ۳ تکرار با پنج سطح اسموپرایمینگ (پتانسیل اسمزی ۲-، ۴-، ۶-، ۸- بار و پرایم‌نشده یا شاهد) و هشت سطح تنش شوری ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۴۰ و ۲۸۰ میلی‌مولار در آزمایشگاه مطالعات اکولوژی و فیزیولوژی بذر درختان جنگلی دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس انجام گرفت.

- تیمار اسموپرایمینگ

بعد از توزین ۴ تکرار ۶۰۰ عدد بذری *P. eldarica* و ضدعفونی کردن سطحی این بذرها به مدت ۲ دقیقه در محلول قارچ‌کش کربوکسین تیرام (۲ در هزار)، تیمار اسموپرایمینگ با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ (PEG) در سطوح پتانسیل اسمزی ۲-، ۴-، ۶- و ۸- بار به‌مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد و در شرایط تاریکی در ژرمیناتور انجام گرفت. پس از تیمار، بذرهای پرایم‌شده از محلول‌ها خارج و برای رفع مواد باقیمانده روی آن‌ها، ۳ مرتبه با آب مقطر شست‌وشو شدند. در ضمن، ۶۰۰ عدد بذر خشک که هیچ تیماری روی آن‌ها صورت نگرفته بود، به‌عنوان پرایم‌نشده (شاهد) نیز در ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد تا قبل از انجام آزمایش ذخیره شد. همچنین، به‌منظور تعادل در محتوای رطوبتی بذرهای پرایم‌شده و پرایم‌نشده، فرایند خشکاندن بذرهای پرایم‌شده روی صفحات کاغذ در دمای اتاق (دور از نور آفتاب) با توزین روزانهٔ آنها تا رسیدن میزان رطوبت به مقدار قبل از پرایم شدن انجام گرفت و با رسیدن رطوبت بذرهای پرایم‌شده به رطوبت اولیه قبل از پرایم شدن، فرایند اسموپرایمینگ خاتمه یافت. شایان ذکر است که پتانسیل‌های مورد نظر براساس رابطهٔ ۱ تهیه شدند [۱۷].

(۱)

$$\psi_s = -(1.18 \times 10^{-2})C + (1.18 \times 10^{-4})C^2 + (2.67 \times 10^{-4})CT + (8.39 \times 10^{-7})C^2$$

Ψs = پتانسل اسمزی (بار)، C= غلظت (گرم در یک کیلوگرم آب) و T= دما (درجهٔ سانتی‌گراد)

- آزمایش تنش شوری

در ابتدای آزمایش جوانه‌زنی، همهٔ بذرهای پرایم‌شده به‌همراه بذرهای پرایم‌نشده با محلول قارچ‌کش کربوکسین تیرام (۲ در هزار) به‌مدت ۲ دقیقه ضدعفونی و با آب مقطر شسته شدند و محلول‌های ایزواسمز کلرید سدیم در غلظت‌های ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۴۰ و ۲۸۰ میلی‌مولار به‌منظور اعمال تنش شوری استفاده شدند. برای هر یک از گروه‌های پنج‌گانهٔ بذر (بذرهای پرایم‌شده با غلظت‌های ۲-، ۴-، ۶- و ۸- بار PEG، و بذرهای پرایم‌نشده) در هر سطح تنش شوری، ۳ تکرار ۲۵ تایی در داخل پتری دیش‌هایی با دو لایهٔ کاغذ صافی (استریل‌شده در اتوکلاو به‌مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجهٔ سانتی‌گراد) قرار داده شد و مقدار ۶ میلی‌لیتر از محلول‌های شوری با غلظت مورد نظر هر ۴۸ ساعت یک‌بار به آن‌ها اضافه شد [۷]. پتری‌دیش‌های حاوی بذر به‌مدت ۳۳ روز در ژرمیناتور با تنظیم ۱۶ ساعت روشنایی (شدت نور ۱۰۰۰ لوکس)، رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای ۰/۵ ± ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند. طی دورهٔ آزمایش، برای ممانعت از آلودگی قارچی و ثابت نگه داشتن پتانسیل محلول‌ها، کاغذهای صافی هر پنج روز

یک‌بار تعویض شد [۶]. شمارش روزانهٔ بذرهای جوانه‌زده با ملاکِ داشتن طول ریشه‌چه به اندازهٔ حداقل ۲ میلی‌متر در طی ۳۳ روز انجام گرفت. برای محاسبهٔ درصد جوانه‌زنی، درصد نسبی جوانه‌زنی و قدرت جوانه‌زنی [۱۸]، سرعت جوانه‌زنی [۱۹] و شاخص بنیه [۲۰] از روابط جدول ۱ استفاده شد. شایان ذکر است که برای اندازه‌گیری طول گیاهچه، از هر پتری‌دیش تعداد ۷ گیاهچه تصادفی انتخاب و با خط‌کش اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Ver. 17) صورت گرفت. پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov)، تبدیل داده‌ها با استفاده از لگاریتم، همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون (Levene)، تعیین اختلاف آماری داده‌ها با آزمون تجزیهٔ واریانس دوطرفه (Two-Way-Anova)، مقایسهٔ میانگین داده‌های همگن با آزمون چنددامنه‌ای دانکن (Duncan) و مقایسهٔ میانگین داده‌های ناهمگن با آزمون دانت تی ۳ (Dunnett's T3) صورت گرفت. رسم نمودار نیز با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

نتایج و بحث

نتایج تجزیهٔ واریانس نشان می‌دهد که تأثیر تیمارهای اسموپرایمینگ، تنش شوری، همچنین اثر متقابل آن‌ها روی درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی شاخص بنیه معنی‌دار بود (جدول ۲).

مقایسهٔ میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطح شوری از ۰ تا ۲۸۰ میلی‌مولار، درصد جوانه‌زنی بذرهای پرایم‌شده با پتانسیل‌های اسمزی ۲-، ۴-، ۶- و ۸- بار به‌ترتیب ۵۵، ۷۰، ۷۵ و ۷۳ درصد کاهش یافت. این در حالی است که بذرهای پرایم‌نشده در تنش شوری بیشتر از ۱۶۰ میلی‌مولار قادر به جوانه‌زنی نبودند و درصد جوانه‌زنی آن‌ها در تنش ۱۶۰ میلی‌مولار نسبت به سطح تنش صفر میلی‌مولار (آب مقطر) ۷۷ درصد کاهش نشان داد (جدول ۳). همچنین روند درصد نسبی جوانه‌زنی در بذرهای پرایم‌شده (به‌ویژه در بذرهای پرایم‌شده با پتانسیل اسمزی ۲- بار) نسبت به بذرهای پرایم‌نشده از شیب ملایم‌تری برخوردار بود، به‌عبارت دیگر، با افزایش غلظت شوری از صفر تا ۲۸۰ میلی‌مولار، میزان افت جوانه‌زنی در آنها کمتر بود (شکل ۱).

جدول ۱. فرمول محاسباتی شاخص‌های جوانه‌زنی

درصد جوانه‌زنی	درصد نسبی جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)	قدرت جوانه‌زنی (درصد)	شاخص بنیهٔ بذر (درصد)
$GP= n/(N\times100)$	$RGP=(GP_{si}/GP_{so}) \times 100$	$GS=\sum(ni/ti)$	$GE= Mcgr/(N \times100)$	$IV= GP \times Mean (SL+RL)/100$

n تعداد کل بذرهای جوانه‌زده طی آزمایش، N تعداد بذرهای کاشته‌شده، GPsi درصد جوانه‌زنی در هر سطح تنش شوری، GPso درصد جوانه‌زنی در تنش صفر میلی‌مولار (آب مقطر)، ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در فاصلهٔ زمانی مشخص ti، ti تعداد روزهای پس از شروع جوانه‌زنی، Mcgr ماکزیمم درصد تجمعی بذرهایِ جوانه‌زده، SL میانگین طول ساقه‌چه و RL میانگین طول ریشه‌چه.

جدول ۲. نتایج تجزیهٔ واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی *P. eldarica* تحت تیمار اسموپرایمینگ و تنش شوری

منابع تغییرات		درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی	قدرت جوانه‌زنی	شاخص بنیهٔ بذر
اسموپرایمینگ	F	۱۱۳/۱۶	۲۳۹/۹۲	۳۴۰/۱	۸۱/۳
	P	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**
تنش شوری	F	۱۶۲/۹۲	۵۵/۷۲	۲۵۹/۶۴	۱۳۱/۳۳
	P	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**
اسموپرایمینگ × تنش شوری	F	۴۱/۹۰	۹/۵۲	۲/۱۶	۱/۶۸
	P	۰/۰۰۰**	۰/۰۰۰**	۰/۰۴*	۰/۰۳*

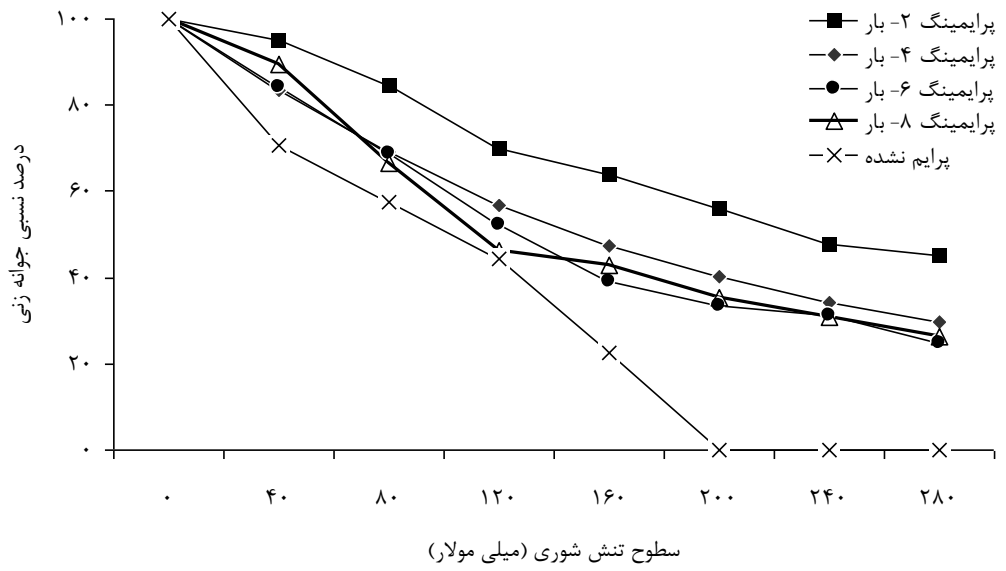
** و * به‌ترتیب معرف معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌ها در سطح ۰/۰۱ و ۰/۰۵ است.

جدول ۳. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار اسموپرایمینگ و تنش شوری روی درصد جوانه‌زنی بذر *P. eldarica*

شوری (میلی‌مولار)	پتانسیل اسمزی در تیمار پرایمینگ (برحسب بار)				
	-۲	-۴	-۶	-۸	پرایم‌نشده
۰	۸۹/۳ (۴/۳) a	۸۸/۸ (۴/۱) a	۷۹/۱ (۳/۳) a-c	۶۴/۲ (۲/۹) d-g	۷۱/۸ (۳/۰) c-f
۴۰	۸۴/۳ (۴/۱) ab	۷۴/۱ (۳/۱) b-e	۶۶/۷ (۲/۸) d-g	۵۷/۴ (۲/۸) gh	۵۰/۷ (۲/۵) h-j
۸۰	۷۵/۷ (۳/۴) b-e	۶۱/۳ (۳/۱) f-h	۵۴/۴ (۲/۶) g-i	۴۲/۷ (۱/۹) i-k	۴۱/۳ (۱/۵) jk
۱۲۰	۶۲/۵ (۲/۴) e-h	۵۰/۴ (۲/۶) h-j	۴۱/۵ (۲/۱) jk	۲۹/۹ (۱/۳) k-m	۳۱/۹(۱/۱) km
۱۶۰	۵۷/۰ (۲/۳) gh	۴۲/۰ (۱/۷) i-k	۳۰/۹ (۱/۲) km	۲۷/۶ (۱/۲) l-n	۱۶/۳ (۰/۸) n
۲۰۰	۴۹/۹ (۱/۲) h-j	۳۵/۸ (۱/۵) kl	۲۶/۶ (۰/۹) l-n	۲۲/۸ (۰/۸) mn	-
۲۴۰	۴۲/۷ (۱/۱) i-k	۳۰/۳ (۱/۰) km	۲۴/۸ (۰/۷) l-n	۱۹/۸ (۰/۷) mn	-
۲۸۰	۴۰/۲ (۱/۱) jk	۲۶/۳ (۰/۸) l-n	۱۹/۶ (۰/۷) mn	۱۶/۸ (۰/۴) n	-

اعداد داخل پرانتز معرف اشتباه معیارند.

بهبود درصد جوانه‌زنی در تحقیق حاضر، با یافته‌های جان‌محمدی و همکاران [۱۹] در آزمایش روی *Zea mays* L. و طویلی و همکاران [۱۴] روی *B. inermis* و *B. tomentellus* مطابقت دارد. تنش شوری از طریق افزایش فشار اسمزی، تأثیرات سمی یون‌های سدیم و کلر [۲]، اختلال در فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکنندهٔ مواد ذخیره‌ای بذر و ساخت بافت‌های جدید با استفاده از مواد هیدرولیزشده، تخریب غشای سیتوپلاسمی و ایجاد تنش اکسیداتیو ناشی از افزایش تولید رادیکال‌های فعال اکسیژن [۲۱] سبب تداخل در متابولیسم گیاه و جوانه‌زنی می‌شود. این در حالی است که اعمال اسموپرایمینگ در شرایط تنش شوری احتمالاً به‌واسطهٔ تعدیل فشار اسمزی (از طریق افزایش تولید و تجمع قندها و اسید آمینهٔ پرولین در بذر)، شکل‌گیری تغییرات مولکولی و بیوشیمیایی زیاد و القای تولید برخی آنزیم‌های افزایش‌دهندهٔ مقاومت به شوری، سنتز پروتئین‌ها، افزایش جذب اکسیژن، تشکیل ATP و تسهیل حرکت مواد غذایی از کوتیلدون به سمت محور جنینی موجب بهبود جوانه‌زنی می‌شود [۹، ۱۰].



شکل ۱. روند تغییرات درصد نسبی جوانه‌زنی در بذرهای پرایم‌شده و پرایم‌نشده *P. eldarica* تحت تنش شوری

افزایش تنش شوری به کاهش سرعت جوانه‌زنی کلیهٔ بذرها منجر شد؛ ضمن اینکه، بذرهای پرایم‌شده با پتانسیل اسمزی ۲-، ۴- و ۶- بار در همهٔ سطوح تنش، نسبت به بذرهای پرایم‌نشده از سرعت جوانه‌زنی بیشتری برخوردار بودند. در مقایسهٔ بین بذرهای پرایم‌شده با پتانسیل اسمزی ۸- بار و بذرهای پرایم‌نشده، تیمار بذر با اسموپرایمینگ ۸- بار در سطوح تنش ۰، ۴۰ و ۸۰ میلی‌مولار نسبت به بذرهای پرایم‌نشده سرعت جوانه‌زنی کمتری را نشان داد، ولی در تنش‌های بالاتر از ۸۰ میلی‌مولار، این تیمار (اسموپرایمینگ ۸- بار) از مقادیر بیشتری برخوردار بود (جدول ۴).

نتایج به‌دست‌آمده در زمینهٔ سرعت جوانه‌زنی با نتایج مکی‌زاده و همکاران [۱۶] در بررسی اثر اسموپرایمینگ با پتانسیل‌های اسمزی ۴-، ۸-، ۱۲- و ۱۶- بار تحت سطوح تنش ۴، ۸ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر روی *M. officinalis* مطابقت دارد. در شرایط تنش شوری، سمیت یون‌های سدیم و کلر موجب مسمومیت بذر و اختلال در میزان مطلوب یون‌های پتاسیم و کلسیم و با داشتن خاصیت حل‌پذیری در آب، به کاهش پتانسیل آب منجر می‌شود. به‌طوری‌که با وجود آب در محیط، به‌علت عدم توانایی در جایگزینی آب با یون‌های موجود، بذر قادر به جذب آب نیست و در نتیجه با کمبود آب مواجه می‌شود. در پی آن، فعالیت‌های داخل بذر به‌آرامی صورت می‌گیرد و در نتیجه سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد [۳]. از طرفی بهبود سرعت جوانه‌زنی بذرهای پرایم‌شده در گزارش برانکایون و همکاران [۱۲] به افزایش احتمالی سرعت تقسیم سلولی و کوتاه شدن زمان متابولیسم نسبت داده شد. ممکن است سنتز DNA، RNA و پروتئین طی پرایمینگ موجب تکمیل بسیاری از مراحل فیزیولوژیکی شود و بذر در آستانهٔ جوانه‌زنی قرار گیرد و به محض جذب آب (حتی به مقدار کم) و احیای متابولیسم، جوانه‌زنی صورت گیرد [۱۰].

جدول ۴. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار اسموپرایمینگ و تنش شوری روی سرعت جوانه‌زنی بذر (در روز) *P. eldarica*

شوری (میلی‌مولار)	پتانسیل اسمزی در تیمار پرایمینگ (برحسب بار)				
	۲-	۴-	۶-	۸-	پرایم‌نشده
۰	۴/۱ (۰/۰) a	۲/۲ (۰/۰) c	۱/۱ (۰/۰) e-h	۰/۷ (۰/۰) i-k	۱/۱ (۰/۰) e-h
۴۰	۳/۳ (۰/۰) ab	۱/۹ (۰/۰) cd	۱/۰ (۰/۰) f-i	۰/۷ (۰/۰) i-k	۱/۰ (۰/۰) g-i
۸۰	۲/۶ (۰/۰) bc	۱/۵ (۰/۰) d-f	۰/۹ (۰/۰) g-i	۰/۵ (۰/۰) k-n	۰/۵ (۰/۰) k-m
۱۲۰	۲/۴ (۰/۰) bc	۱/۰ (۰/۰) g-i	۰/۸ (۰/۰) h-j	۰/۵ (۰/۰) l-p	۰/۴ (۰/۰) n-p
۱۶۰	۱/۶ (۰/۰) de	۰/۹ (۰/۰) g-j	۰/۶ (۰/۰) j-l	۰/۳ (۰/۰) o-r	۰/۲ (۰/۰) rs
۲۰۰	۱/۵ (۰/۰) df	۰/۸ (۰/۰) h-j	۰/۴ (۰/۰) l-p	۰/۳ (۰/۰) q-s	-
۲۴۰	۱/۴ (۰/۰) d-f	۰/۷ (۰/۰) i-k	۰/۴ (۰/۰) n-p	۰/۲ (۰/۰) st	-
۲۸۰	۱/۳ (۰/۰) e-g	۰/۵ (۰/۰) k-o	۰/۳ (۰/۰) p-r	۰/۲ (۰/۰) t	-

اعداد داخل پرانتز معرف اشتباه معیارند.

جدول ۵. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار اسموپرایمینگ و تنش شوری روی قدرت جوانه‌زنی بذر (درصد) *P. eldarica*

شوری (میلی‌مولار)	پتانسیل اسمزی در تیمار پرایمینگ (برحسب بار)				
	۲-	۴-	۶-	۸-	پرایم‌نشده
۰	۶۱/۶ (۲/۳) a	۵۳/۹ (۲/۴) b	۴۰/۳ (۲/۱) de	۴۰/۲ (۱/۶) de	۳۳/۲ (۱/۲) fg
۴۰	۵۴/۵ (۲/۲) ab	۴۴/۰ (۲/۰) cd	۳۹/ ۶(۱/۱) de	۳۳/۰ (۱/۳) fg	۲۷/۲ (۰/۹) hi
۸۰	۴۶/۰ (۲/۰) c	۳۳/۳ (۱/۲) fg	۲۷/۱ (۱/۰) hi	۲۵/۸ (۰/۹) h-j	۲۳/۱(۰/۹) h-k
۱۲۰	۴۴/۴ (۱/۷) cd	۲۹/۰ (۰/۹) gh	۲۲/۴ (۱/۰) i-k	۲۰/۹ (۰/۹) j-l	۱۶/۱ (۰/۹) l-n
۱۶۰	۴۰/۲ (۱/۲) de	۲۴/۵ (۰/۸) h-j	۲۰/۸ (۱/۰) j-l	۱۸/۱ (۰/۸) k-m	۷/۵ (۰/۲) o
۲۰۰	۳۵/۹ (۱/۱) ef	۱۸/۱ (۰/۷) k-m	۱۶/۲ (۰/۷) l-n	۱۱/۴ (۰/۱) mo	-
۲۴۰	۳۳/۴ (۱/۰) fg	۱۳/۰ (۰/۵) m-o	۱۲/۷ (۰/۳) m-o	۱۰/۹ (۰/۱) mo	-
۲۸۰	۲۷/۵ (۱/۰) hi	۱۲/۷ (۰/۳) m-o	۹/۴ (۰/۰) o	۷/۸ (۰/۱) o	-

اعداد داخل پرانتز معرف اشتباه معیارند.

قدرت جوانه‌زنی بذرهای پرایم‌شده نسبت به بذرهای پرایم‌نشده در تمامی سطوح تنش شوری بیشتر بود. در بین همهٔ تیمارها، بذرهای اسموپرایم‌شده با غلظت ۲- بار بهترین عملکرد را نشان دادند (جدول ۵). بهبود معنی‌دار قدرت جوانه‌زنی بذر تحت تنش شوری در تحقیق حاضر با نتایج غیاثی و همکاران [۲۲] در بررسی اثر اسموپرایمینگ با غلظت‌های ۴-، ۸- و ۱۲- بار تحت تنش شوری ۴، ۸، ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر روی *Triticum aestivum* L. مطابقت دارد. شوری به‌واسطهٔ تغییر در هومئوستازی یون‌ها و پتانسیل آب، تجزیهٔ ضعیف مواد آندوسپرم و در نتیجه کاهش یا عدم انتقال مواد

غذایی از بافت‌های ذخیره‌ای بذر، اختلال در کارکرد سلول و آسیب رساندن به فرایندهای فیزیولوژیک، قدرت جوانه‌زنی بذر را کاهش می‌دهد [۲۱]. این در حالی است که پرایمینگ با کاهش مقاومت فیزیکی ذخایر اندوخته‌ای بذر طی مرحلهٔ جذب آب و انتقال عناصر از آن‌ها به نقطهٔ رشد و آغاز واکنش‌های شیمیایی به‌منظور تجزیهٔ ترکیبات برای سنتز مواد جدید، افزایش فعالیت برخی آنزیم‌های مسئول تحرک پروتئینی (مانند فسفاتاز، آمیلاز و پروتئاز) و افزایش لیپیدها، تولید DNA و RNA، به افزایش قدرت جوانه‌زنی بذر در شرایط نامساعد شوری منجر می‌شود [۹].

با افزایش سطح پرایمینگ و شوری از اندازهٔ شاخص بنیهٔ بذر کاسته شد، به‌نحوی که بیشترین و کمترین شاخص بنیهٔ بذر به ترتیب در اسموپرایمینگ ۲- بار- تنش صفر میلی‌مولار (آب مقطر) و اسموپرایمینگ ۸- بار -تنش ۲۸۰ میلی‌مولار مشاهده شد. در بذرهای پرایم‌نشده نیز افزایش تنش شوری از صفر تا ۱۶۰ میلی‌مولار، شاخص بنیهٔ بذر را ۸۹ درصد کاهش داد (جدول ۶)، به‌طوری‌که می‌توان گفت به‌طور کلی به‌کارگیری روش اسموپرایمینگ در مقایسه با شاهد سبب افزایش شاخص بنیهٔ بذر تحت تنش شوری شد. در این راستا ،جان‌محمدی و همکاران [۱۹] در آزمایش تأثیر اسموپرایمینگ روی *Z. mays* و زانگ و همکاران [۱۵] روی *L. esculentum* نیز به نتایج مشابهی دست یافتند. شاخص بنیه تابعی از طول گیاهچه و درصد جوانه‌زنی است. این در حالی است که تنش شوری با افزایش فشار اسمزی و کاهش جذب آب توسط بذر و سمیت یون‌های سدیم و کلر، جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار می‌دهد [۲۱]. همچنین تنش شوری از طریق کاهش سرعت تولید سلول‌های جدید و سرعت بزرگ شدن این سلول‌ها، انعطاف‌پذیری دیوارهٔ سلولی، فشار تورژسانس و مقاومت اندامک‌های دیواره‌ای یا تداخل در نوع فعالیت و نوع ترکیبات تولیدی اندامک‌ها، رشد سلول را کاهش می‌دهد [۵].

جدول ۶. مقایسهٔ میانگین اثر متقابل تیمار اسموپرایمینگ و تنش شوری روی شاخص بنیهٔ بذر (درصد) *P. eldarica*

شوری (میلی‌مولار)	پتانسیل اسمزی در تیمار پرایمینگ (برحسب بار)				پرایم‌نشده
	-۲	-۴	-۶	-۸	
۰	۹۵/۷ (۴/۵) a	۹۴/۳ (۴/۴) ab	۷۹/۹ (۳/۳) b-d	۴۹/۸ (۲/۲) g-i	۵۷/۵ (۲/۵) fg
۴۰	۸۵/۴ (۴/۳) a-c	۷۸/۸ (۳/۱) b-d	۶۰/۴ (۲/۷) e-g	۳۹/۵ (۱/۲) ij	۳۸/۵ (۱/۲) i-k
۸۰	۷۳/۶ (۴/۲) cd	۶۷/۸ (۲/۲) d-f	۵۰/۶ (۲/۲) g-i	۲۸/۸ (۰/۹) j-o	۳۰/۹ (۱/۱) j-n
۱۲۰	۵۸/۵ (۲/۷) e-g	۵۶/۹ (۲/۰) f-h	۳۴/۲ (۱/۲) i-m	۱۵/۳ (۰/۶) n-s	۲۱/۰ (۰/۹) l-r
۱۶۰	۴۱/۳ (۱/۸) h-j	۳۵/۷ (۱/۲) i-l	۲۲/۱ (۱/۰) k-q	۹/۹ (۰/۱) p-s	۶/۰ (۰/۰) q-s
۲۰۰	۳۰/۶ (۱/۱) j-n	۲۶/۷ (۰/۸) j-p	۱۲/۳ (۰/۲) o-s	۶/۷ (۰/۰) q-s	-
۲۴۰	۲۰/۵ (۰/۹) l-r	۱۷/۷ (۰/۸) m-s	۸/۰ (۰/۰) q-s	۴/۲ (۰/۰) rs	-
۲۸۰	۱۵/۴ (۰/۷) n-s	۱۲/۴۵ (۰/۴) o-s	۴/۷ (۰/۰) rs	۲/۶ (۰/۰) s	-

اعداد داخل پرانتز معرف اشتباه معیارند.

علاوه‌بر این، صرف انرژی برای جذب آب و افزایش تنفس بذر و در نتیجه اختصاص مواد کمتر برای رشد، می‌تواند با کاهش رشد گیاهچه مرتبط باشد. بنابراین می‌توان گفت که کاهش همزمان درصد جوانه‌زنی و طول گیاهچه تحت تأثیر شوری، علت کاهش شاخص بنیه است. از طرفی احتمال دارد که اسموپرایمینگ از طریق فعالیت‌هایی همچون بازسازی تخریب کروموزومی، افزایش پایداری غشای سلولی، تغییرات فیزیولوژیکی مانند افزایش تجمع مقدار قند، ترکیبات آلی و یونی، افزایش فعالیت آنزیم‌ها و هورمون‌های مربوط به بنیهٔ بذر، کاهش پراکسیداسیون لیپید و میزان تنفس بذر و در مقابل افزایش مواد فتوسنتزی برای انجام فعالیت‌های متابولیکی و تغییرات در رشد محور جنینی و نمو در مراحل بعدی سبب بهبود شاخص بنیه بذر شود [۱۳].

در تحقیق حاضر، نظر به اینکه جوانه‌زنی بذرهای پرایم‌نشده در تنش‌های بیشتر از ۱۶۰ میلی‌مولار متوقف شد، ولی در مقابل، جوانه‌زنی بذرهای اسموپرایم‌شده حتی تا تنش شوری ۲۸۰ میلی‌مولار ادامه یافت، می‌توان نتیجه گرفت که اعمال روش اسموپرایمینگ موجب القای مقاومت به شوری شده است. به‌طور کلی، در همهٔ سطوح شوری، بذرهای پرایم‌شده به‌ویژه در پتانسیل اسمزی ۲- بار از سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیهٔ بیشتر، و تغییرات کاهشی کمتری در درصد نسبی جوانه‌زنی برخوردار بودند که حاکی از تأثیر مثبت اسموپرایمینگ روی بهبود جوانه‌زنی بذر تحت تنش شوری کاج تهران است. ازاین‌رو می‌توان پیشنهاد کرد که برای جوانه‌زنی موفق‌تر بذر کاج تهران در خاک‌های متمایل به شور نهالستان‌های جنگلی مناطق خشک کشور از روش اسموپرایمینگ به‌ویژه پتانسیل اسمزی ۲- بار استفاده شود. البته، تحقیق برای مقادیر کمتر پتانسیل اسمزی (بین ۰ تا ۲- بار) نیز می‌تواند در دستور کار پژوهشگران آتی قرار گیرد.

References

[1]. Chinnusamy, V., Jagendorf, A., and Zhu, J. (2005). Understanding and improving salt tolerance in plants. Crop Science, 45: 437-448.

[2]. Al-Karaki, G.N. (2001). Germination, sodium and potassium concentrations of barley seeds as influenced by salinity. Journal of Plant Nutrition, 24(3): 511–522.

[3]. Gallardo, K., Job, C., Groot, S.P., Puype, M., Demol, H., Vandekerckove, J., and Job, D. (2001). Proteomic analysis of Arabidopesis seed germination and priming. Plant Physiology, 126(2): 835- 848.

[4]. Turk, M.A., Tahawa, R.M., and Lee, K.D. (2004). Seed germination and seedling growth of three lentil cultivars under moisture stress. Asian Journal of Plant Sciences, 3(3): 394-397.

[5]. Francodantas, B., De Saribeiiro, L., and Albertoaragao, C. (2005). Phisiological response of cowpea seeds to salinity stress. Revista Brasileira de Sementes, 27(1): 89-121.

[6]. Huang, Z., Zhang, X., Zheng, G., and Gutterman, Y. (2003). Influence of light, temperature, salinity and storage on seed germination of *Haloxylon ammodendron*. Journal of Arid Environments, 55(3): 453-464.

[7]. Ganatsas, P.P., and Tsakaldimi, M.N. (2007). Effect of light condition and salinity on germination behaviour and early growth of umbrella pine (*Pinus pinea* L.) seed. Journal of Horticultural Science and Biotecnology, 82(4): 605-610.

[8]. Kiani Abari, A., Hosseini Nasr, M., Hojjati, M., and Bayat, D. (2011). Salt effects on seed germination and seedling emergence of two Acacia species. African Journal of Plant Science, 5(1): 52-56.

(1) [9]. Ashraf, M., and Foolad, M.R. (2005). Pre-sowing seed treatment-a shotgun approach to improve germination growth and crop yield under saline and none-saline conditions. Advances in Agronomy, 88(1): 223-271.

(2) [10]. Bradford, K.J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. HortScienc, 21(1): 1105-1 112.

[11]. Naglreiter, C., Reichenauer, T.G., Goodman, B.A., and Bolhar-Nordonkampf, H.R. (2005). Free radical generation in *Pinus sylvestris* and *Larix deciduas* seeds primed with polyethylene glycol or potassium salt solution. Plant Physiology and Biotechnology, 43(2): 117-123.

[12]. Brancalion, P.H.S., Novembre, A.D.L.C., Rodrigues, R.R., and Tay, D. (2008). Priming of *Mimosa bimucronata* seeds: a tropical tree species from Brazil. Acta Horticulturae, 782(3): 163-168.

[13]. Brancalion, P.H.S., Tay, D., Novembre, A.D.L.C., Rodrigues, R.R., and Fillo, J.M. (2010). Priming of pioneer tree *Guazuma ulmifolia* (Malvaceae) seed evaluated by an automated computer image analysis. Scientia Agricola, 67(3): 274-279.

[14]. Tavili, A., Zare, S., Javadi, S.A., and Enayati, A. (2011). Effects of seed priming on germination characteristics of *Bromus* species under salt and drought conditions. American-Eurasian Journal Agricultural and Environmental Sciences, 10(2): 163-168.

[15]. Zhang, M.. Wang, Z., Yuan, L., Yin, C., Cheng, J., Wang, L., Huang, J., and Zhang, H. (2012). Osmopriming improves tomato seed vigor under aging and salinity stress. African Journal of Biotechnology, 11(23): 6305-6311.

[16]. Makkizadeh, M., Farhoudi, R., and Rastifar, M. (2012). Effect of osmopriming on seed germination of Lemon balm (*Melissa officinalis* L.) under salinity stresses. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants, 27(4): 586-573.

[17]. Michel, B.E., and Kaufmann, M.R. (1973). The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology, 51(5): 914-916.

[18]. Verma, S.K., Bjpai, G.C., Tewari, S.K., and Singh, J. (2005). Seedling index and yield as influenced by seed size in pigeon pea. Legume Research, 28(2): 389-396.

[19]. Janmohammadi, M., Moradi Dezfuli, P., and Sharifzadeh, F. (2008). Seed invigoration techniques to improve germination and early growth of inbred line of maize under salinity and drought stresses. Plant Physiology, 34(3-4): 215-226.

[20]. Abdul-Baki, A.A., and Anderson, J.D. (1970). Viability and leaching of sugars from germinating barley. Crop Science, 10(1): 630-633.

[21]. Rehman, S., Harris P.J.C., Bourne, W.F., and Wikin J. (1996). The effect of sodium chloride on germination and the potassium and calcium contents of Acacia seeds. Seed Science and Technology, 25(1): 277-285.

[22]. Ghiyasi, M., Abrahim Seyahjani, A., Tajbakhsh, M., Amirnia, R., and Salehzadeh, H. (2008). Effect of osmopriming with polyethylene glycol (8000) on germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds under salt stress. Research Journal of Biological Sciences, 3(10): 1249-1251.