

## اثر اسموپرایمینگ بر صفات جوانه‌زنی بذر تحت تنش

### شوری کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.)

- ❖ زینب جوانمرد؛ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد جنگلداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- ❖ مسعود طبری کوچکسرای؛\* استاد گروه جنگلداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران
- ❖ حمیدرضا عیسوند؛ استادیار گروه زراعت، دانشگاه لرستان، دانشکده کشاورزی، خرم‌آباد، ایران
- ❖ فاطمه احمدلو؛ دانشجوی دکتری جنگلداری دانشکده 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 به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار صورت گرفت. تیمار اسموپرایمینگ با استفاده از پلی‌اتیلن گلیکول 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 میلی مولار متوقف شد، ولی در بذرهای پرایم‌شده تا شوری ۲۸۰ میلی مولار ادامه یافت. در همه سطوح شوری، بذرهای پرایم‌شده (به‌ویژه در پتانسیل اسمزی ۲- بار) دارای سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه 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، پلی‌اتیلن گلیکول، شاخص بنیه بذر، قدرت جوانه‌زنی، کلرید سدیم.

## مقدمه

شوری یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده 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 ذکرشده 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 زمینه 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. مطالعه گاناتاساس 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 آبری 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 دامنه دمایی وسیع‌تر) و بازسازی سلول‌های

*Guazuma* توسط برانکالیون و همکاران [۱۳] بیانگر آن است که اعمال این تیمار، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و رشد گیاهچه را بهبود بخشید. در زمینه تأثیر تیمار اسموپرایمینگ به منظور 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.

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 ماده 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 پلی‌اتیلن‌گلیکول (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. نگلریترو 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] همه 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 گیاهچه بیشتری برخوردار بودند. نتایج بررسی تیمار اسموپرایمینگ با پتانسیل اسمزی ۸- بار به‌مدت زمان‌های ۵۶ و ۸۸ ساعت بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر *ulmifolia* Lam.

## روش تحقیق

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

## - تیمار اسموپرایمینگ

بعد از توزین ۴ تکرار ۶۰۰ عدد بذری *P. eldarica* و ضد عفونی کردن سطحی این بذرها به مدت ۲ دقیقه در محلول قارچ کش کربوکسن تیرام (۲ در هزار)، تیمار اسموپرایمینگ با استفاده از پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ (PEG) در سطوح پتانسیل اسمزی ۲-، ۴-، ۶- و ۸- بار به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۲۰ درجه سانتی گراد و در شرایط تاریکی در ژرمیناتور انجام گرفت. پس از تیمار، بذرها پرایم شده از محلول‌ها خارج و برای رفع مواد باقیمانده روی آنها، ۳ مرتبه با آب مقطر شست و شو شدند. در ضمن، ۶۰۰ عدد بذر خشک که هیچ تیماری روی آنها صورت نگرفته بود، به عنوان پرایم نشده (شاهد) نیز در ژرمیناتور با دمای ۲۰ درجه سانتی گراد تا قبل از انجام آزمایش ذخیره شد. همچنین، به منظور تعادل در محتوای رطوبتی بذرها پرایم شده و پرایم نشده، فرایند خشکاندن بذرها پرایم شده روی صفحات کاغذ در دمای اتاق (دور از نور آفتاب) با توزین روزانه آنها تا رسیدن میزان رطوبت به مقدار قبل از پرایم شدن انجام گرفت و با رسیدن رطوبت بذرها پرایم شده

به رطوبت اولیه قبل از پرایم شدن، فرایند اسموپرایمینگ خاتمه یافت. شایان ذکر است که پتانسیل‌های مورد نظر براساس رابطه ۱ تهیه شدند [۱۷].

(۱)

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

$\Psi_s$  = پتانسیل اسمزی (بار)، C = غلظت (گرم در یک کیلوگرم آب) و T = دما (درجه سانتی گراد)

## - آزمایش تنش شوری

در ابتدای آزمایش جوانه زنی، همه بذرها پرایم شده به همراه بذرها پرایم نشده با محلول قارچ کش کربوکسن تیرام (۲ در هزار) به مدت ۲ دقیقه ضد عفونی و با آب مقطر شسته شدند و محلول‌های ایزواسمز کلرید سدیم در غلظت‌های ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰، ۱۶۰، ۲۰۰، ۲۴۰ و ۲۸۰ میلی مولار به منظور اعمال تنش شوری استفاده شدند. برای هر یک از گروه‌های پنج گانه بذر (بذرها پرایم شده با غلظت‌های ۲-، ۴-، ۶- و ۸- بار PEG، و بذرها پرایم نشده) در هر سطح تنش شوری، ۳ تکرار ۲۵ تایی در داخل پتری دیش‌هایی با دو لایه کاغذ صافی (استریل شده در اتوکلاو به مدت ۲۰ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه سانتی گراد) قرار داده شد و مقدار ۶ میلی-لیتر از محلول‌های شوری با غلظت مورد نظر هر ۴۸ ساعت یکبار به آنها اضافه شد [۷]. پتری دیش‌های حاوی بذر به مدت ۳۳ روز در ژرمیناتور با تنظیم ۱۶ ساعت روشنایی (شدت نور ۱۰۰۰ لوکس)، رطوبت نسبی ۶۵ درصد و دمای  $20 \pm 0.5$  درجه سانتی گراد قرار گرفتند. طی دوره آزمایش، برای ممانعت از آلودگی قارچی و ثابت نگه داشتن پتانسیل محلول‌ها،

## نتایج و بحث

نتایج تجزیه 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).

مقایسه 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 به ترتیب 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، به عبارت دیگر، با افزایش غلظت شوری از صفر تا ۲۸۰ میلی‌مولار، میزان افت جوانه‌زنی در آنها کمتر بود (شکل ۱).

کاغذهای صافی هر پنج روز یکبار تعویض شد [۶]. شمارش روزانه بذرهای جوانه‌زده با ملاک داشتن طول ریشه‌چه به اندازه حداقل ۲ میلی‌متر در طی ۳۳ روز انجام گرفت. برای محاسبه 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 کولموگوروف-اسمیرنوف (Kolmogorov-Smirnov)، تبدیل داده‌ها با استفاده از لگاریتم، همگنی واریانس داده‌ها با آزمون لون (Levene)، تعیین اختلاف آماری داده‌ها با آزمون تجزیه واریانس دوطرفه (Two-Way-Anova)، مقایسه میانگین داده‌های همگن با آزمون چنددامنه‌ای دانکن (Duncan) و مقایسه میانگین داده‌های ناهمگن با آزمون دانت تی ۳ (Dunnett's T3) صورت گرفت. رسم نمودار نیز با نرم‌افزار Excel انجام گرفت.

جدول ۱. فرمول محاسباتی شاخص‌های جوانه‌زنی

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

n تعداد کل بذرهای جوانه‌زده طی آزمایش، N تعداد بذرهای کاشته‌شده،  $GP_{si}$  درصد جوانه‌زنی در هر سطح تنش شوری،  $GP_{so}$  درصد جوانه‌زنی در تنش صفر میلی‌مولار (آب مقطر)، ni تعداد بذرهای جوانه‌زده در فاصله زمانی مشخص  $ti$ ،  $ti$  تعداد روزهای پس از شروع جوانه‌زنی، Mcgr ماکزیمم درصد تجمعی بذرهای جوانه‌زده، SL میانگین طول ساقه‌چه و RL میانگین طول ریشه‌چه.

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

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

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

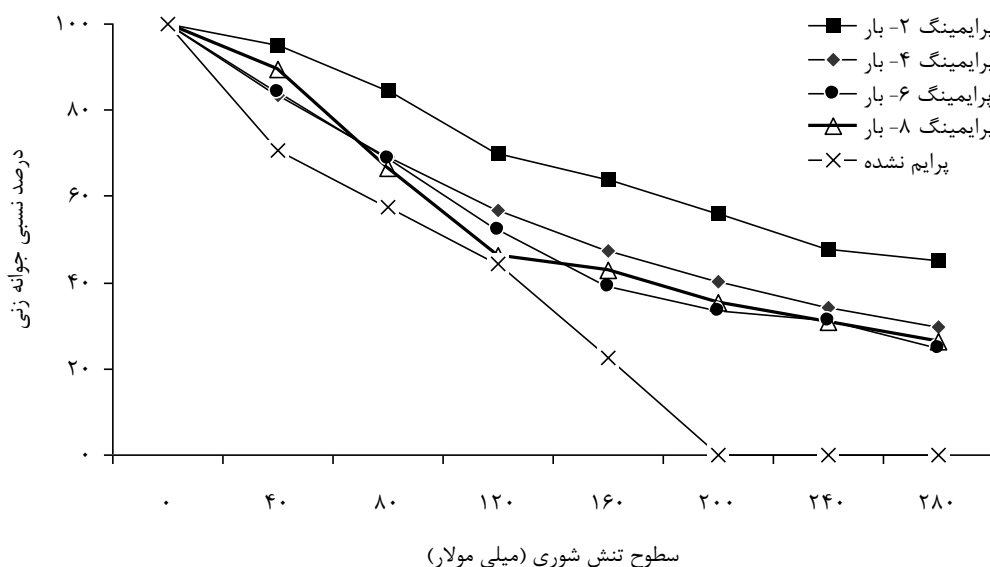
جدول ۳. مقایسه میانگین اثر متقابل تیمار اسموپرایمینگ و تنش شوری روی درصد جوانه‌زنی بذر *P. eldarica*

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

اعداد داخل پراوتر معرف اشتباه معیارند.

سبب تداخل در متابولیسم گیاه و جوانه‌زنی می‌شود. این در حالی است که اعمال اسموپرایمینگ در شرایط تنش شوری احتمالاً به واسطه تعدیل فشار اسمزی (از طریق افزایش تولید و تجمع قندها و اسید آمینه پرولین در بذر)، شکل‌گیری تغییرات مولکولی و بیوشیمیایی زیاد و القای تولید برخی آنزیم‌های افزایش‌دهنده 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].

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. tomentellus sinermis* مطابقت دارد. تنش شوری از طریق افزایش فشار اسمزی، تأثیرات سمی یون‌های سدیم و کلر [۲]، اختلال در فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده 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]



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

مسمومیت بذر و اختلال در میزان مطلوب یون‌های پتاسیم و کلسیم و با داشتن خاصیت حل‌پذیری در آب، به کاهش پتانسیل آب منجر می‌شود. به طوری که با وجود آب در محیط، به علت 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 به آرامی صورت می‌گیرد و در نتیجه سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد [۳]. از طرفی بهبود سرعت جوانه‌زنی بذرهای پرایم-شده 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 آستانه جوانه‌زنی قرار گیرد و به محض جذب آب (حتی به مقدار کم) و احیای متابولیسم، جوانه‌زنی صورت گیرد [۱۰].

افزایش تنش شوری به کاهش سرعت جوانه‌زنی کلیه بذرها منجر شد؛ ضمن اینکه، بذرهای پرایم‌شده با پتانسیل اسمزی ۲-، ۴- و ۶- بار در همه سطوح تنش، نسبت به بذرهای پرایم‌نشده از سرعت جوانه‌زنی بیشتری برخوردار بودند. در مقایسه 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 به دست آمده در زمینه 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

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

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

اعداد داخل پرانتز معرف اشتباه معیارند.

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

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

اعداد داخل پرانتز معرف اشتباه معیارند.

گیاهی 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 به واسطه تغییر در هومئوستازی یونها و پتانسیل آب، تجزیه ضعیف مواد آندوسپرم و در نتیجه کاهش یا عدم انتقال مواد

قدرت جوانه‌زنی بذرهای پرایم‌شده نسبت به بذرهای پرایم‌نشده در تمامی سطوح تنش شوری بیشتر بود. در بین همه 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



درصد کاهش داد (جدول ۶)، به طوری که می‌توان گفت به طور کلی به کارگیری روش اسموپرایمینگ در مقایسه با شاهد سبب افزایش شاخص بنيه 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 بنيه 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 دیواره سلولی، فشار تورژسانس و مقاومت اندامک‌های دیواره‌ای یا تداخل در نوع فعالیت و نوع ترکیبات تولیدی اندامک‌ها، رشد سلول را کاهش می‌دهد [۵].

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 مرحله جذب آب و انتقال عناصر از آن‌ها به نقطه رشد و آغاز واکنش‌های شیمیایی به منظور تجزیه 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 اندازه شاخص بنيه بذر کاسته شد، به نحوی که بیشترین و کمترین شاخص بنيه بذر به ترتیب در اسموپرایمینگ ۲- بار- تنش صفر میلی‌مولار (آب مقطر) و اسموپرایمینگ ۸- بار- تنش ۲۸۰ میلی‌مولار مشاهده شد. در بذرهای پرایم نشده نیز افزایش تنش شوری از صفر تا ۱۶۰ میلی‌مولار، شاخص بنيه بذر را ۸۹

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

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

اعداد داخل پرانتز معرف اشتباه معیارند.

علاوه بر 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 بنیه 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 همه سطوح شوری، بذرهای پرایم‌شده به‌ویژه در پتانسیل اسمزی ۲- بار از سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه 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. از این رو 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 Arabidopsis 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 Saribeiuro, L., and Albertoaragao, C. (2005). Physiological 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 Tsakalimi, 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 Biotechnology*, 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]. Nagltreiter, 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., Abraham 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.