تأثیر اسموپرایمینگ بر جوانه‌زنی و شاخص‌های فیزیولوژیکی بذر کاج تهران (*Pinus eldarica* .Medw) در شرایط تنش خشکی

زینب جوانمرد، مسعود طبری کوچکسرایی* و فاطمه احمدلو

نور، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده منابع طبیعی، گروه جنگل‌داری

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۱۸

چکیده

به‌منظور بررسی اثر اسموپرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر *Pinus eldarica* در تنش خشکی، آزمایشی بصورت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۴ سطح پرایمینگ (۰، ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) و ۸ سطح تنش خشکی (۰، ۲-، ۴-، ۶-، ۸-، ۱۰-، ۱۲- و ۱۴- بار) با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ در آزمایشگاه مطالعات بذر دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. پس از پرایمینگ، بذرها بمدت ۳۵ روز در ژرمیناتور در دمای $20 \pm 5\ ^{\circ}C$ نگهداری شدند. نتایج نشان داد که تیمار پرایمینگ و تنش خشکی و اثر متقابل آنها روی درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذر اثر معنی‌دار داشتند. به‌طوری‌که تیمار اسموپرایمینگ با مدت زمان ۷۲ ساعت در سطح تنش خشکی صفر بار و پرایم نشده در سطح تنش خشکی ۶- بار به‌ترتیب بیشترین و کمترین میانگین همه شاخص‌های جوانه‌زنی (بجز میانگین زمان جوانه‌زنی) را دارا بودند. در اثر متقابل پرایمینگ و تنش خشکی تمامی صفات جوانه‌زنی در بذرهای پرایم نشده در سطوح تنش خشکی بیشتر از ۶- بار متوقف شد ولی جوانه‌زنی بذرهای پرایم شده حتی تا تنش ۱۴- بار نیز مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰، تنش اسمزی، شاخص بنیه بذر، قدرت جوانه‌زنی

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۱۲۲۴۶۲۵۰ ، پست‌الکترونیکی: mtabari@modares.ac.ir

مقدمه

خشکی یکی از فاکتورهای محدود کننده رشد گیاهان می باشد که می‌تواند موجب کاهش یا تأخیر در جوانه‌زنی، سرعت رشد اندام‌ها و کاهش تولید ماده خشک گردد (۲۷). از طرفی جوانه‌زنی بذر به‌عنوان اساسی‌ترین مرحله تعیین‌کننده رشد گیاه می‌باشد و فرایند پیچیده و چند مرحله‌ای است که توسط تعداد زیادی ژن وابسته به محیط کنترل می‌شود (۳۰). بذرهای بالغ خشک، اندام‌های در حال رکودی هستند که فعالیت متابولیکی آنها تقریباً در حال سکون می‌باشد و برای جوانه‌زنی و انجام فعالیت‌های متابولیکی آنزیم‌های هیدرولیزکننده موجود در جنین، نیازمند جذب آب، دمای مناسب و اکسیژن کافی می‌باشند (۲۴). به‌طوری که رفتار فیزیکی جذب آب منجر به فعال شدن فرایندهای متابولیکی بذر شده و به دنبال آبگیری، جوانه‌زنی بوقوع می‌پیوندد (۳۷). بعبارت دیگر، تقریباً کلیه واکنش‌های متابولیکی و هورمونی سلول تحت تأثیر کمبود آب قرار گرفته و تولید و فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه سنتز پروتئین کاهش و حتی در تنش‌های شدید از بین می‌رود و در نهایت بر رشد سلول تأثیر می‌گذارد (۴).

در شرایط آزمایشگاه می‌توان تنش خشکی را با استفاده از محلول‌های مصنوعی ازجمله پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ (PEG) به دلیل اطمینان از یکنواخت بودن توان پتانسیل آب در اطراف بذرهای مختلف و نیز امکان سطح تماس یکسان بین بذر و محیط ایجاد کرد (۲۵). همچنین عوامل ایجادکننده تنش در محیط کشت می‌تواند واکنش القاء

کننده تحمل در بافت‌های گیاه را نمایان سازد، به‌طوری که میزان جذب آب توسط اثرات منفی محلول رطوبتی پتانسیل اسمزی (PEG) کنترل می‌شود (۳۹). مطالعات بسیاری در خصوص اثرات تنش اسمزی با پلی‌اتیلن-گلایکول در مورد درختان سوزنی‌برگ در نقاط مختلف دنیا انجام شده است، ازجمله Muscolo و همکاران کاهش معنی‌داری در صفات فیزیولوژیکی بذر کاج بادامی (*Pinus pinea* L.) با اعمال ۴ سطح رطوبتی ۳-، ۵/۸-، ۸-، ۱۰/۵- بار مشاهده کردند (۳۷). Ahmadloo و همکاران با در نظر گرفتن ۵ سطح رطوبتی (۰، ۲-، ۴-، ۶- و ۸- بار) به این نتیجه رسیدند که در پتانسیل اسمزی ۸- بار، درصد جوانه‌زنی بذرهای سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* var arizonica Greene.) و زربین (*C. horizantalis* (Mill.) Gord var. sempervirens) نسبت به شاهد به‌ترتیب ۶۲٪ و ۷۲٪ کاهش یافت و همچنین کمترین سرعت جوانه‌زنی در هر دو گونه در پتانسیل اسمزی ۸- بار مشاهده شد (۹).

یکی از تکنیک‌های ساده و ارزان برای افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی، خروج یکنواخت‌تر و سریع‌تر گیاهچه، کاهش ناهمگنی فیزیولوژیکی در استقرار گیاهچه، حذف یا ضعیف کردن موانع برای رشد جنین، مقاومت به تنش-های زنده مانند حمله آفات و مقابله با تنش‌های محیطی ازجمله تنش خشکی، تنش شوری و درجه حرارت‌های پایین، حذف کمون بذر و اصلاح سلول‌های زوال یافته با استفاده از پرایمینگ بذر است (۸،۱۳). پرایمینگ در حقیقت روشی است که قبل از جوانه‌زنی بذر اعمال می-شود و در آن سطح جذب آب در بذر کنترل شده و تا سطحی ادامه می‌یابد که فعالیت‌های اولیه جوانه‌زنی مثل فعال شدن هورمون‌ها، آنزیم‌ها و شکستن بافت‌های ذخیره شده در بذر شروع شده اما از خروج ریشه‌چه جلوگیری می‌شود (۳۴). از رایج‌ترین تکنیک‌های پرایمینگ، می‌توان به اسموپرایمینگ اشاره نمود که از طریق فعالیت‌های احتمالی همانند فعال سازی و سنتز بعضی از آنزیم‌ها و هورمون‌ها، سنتز DNA و RNA، تولید ATP، بهبود غشای سیتوپلاسمی و هیدرولیز قندها و انتقال مواد ذخیره‌ای در بذر و آغاز مجدد چرخه سلولی (۱۴) عملکرد جوانه‌زنی را افزایش می‌دهد. در این خصوص مطالعات مختلفی توسط محققان انجام شده است. ازجمله Adams در بررسی تأثیر اسموپرایمینگ بر جوانه‌زنی بذر گونه‌های *Callitris verrucosa* A.Cunn. Ex Endl. و *C. preissii* Miq. با سطح اسمزی ۱/۵- بار و بمدت ۵۰ روز نتیجه گرفت که میانگین زمان جوانه‌زنی هر دو گونه نسبت به شاهد کاهش یافت (۶). Brancalion و همکاران در آزمایش تأثیر بکارگیری تیمار اسموپرایمینگ (پتانسیل اسمزی ۸- بار با مدت زمانهای ۱۱، ۲۴، ۴۸، ۷۲ و ۹۶ ساعت) بر جوانه‌زنی بذر گونه *Mimosa bimucronata* Kuntze DC. نتیجه گرفتند که در همه بذرهای پرایم شده، درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه بیشتر از بذرهای پرایم نشده بود (۱۹). Brancalion و همکاران با بررسی اثر اسموپرایمینگ با غلظت ۸- بار و با زمان‌های ۵۶ و ۸۸ ساعت بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر گونه *Guazuma ulmifolia* Lam. نتیجه گرفتند که همه بذرهای پرایم شده درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و طول گیاهچه بیشتری نسبت به بذرهای تیمار شاهد نشان دادند (۲۰).

امروزه عملیات جنگل‌کاری به‌ویژه با سوزنی‌برگان در مناطق مختلف کشور بسیار توسعه یافته است. ازجمله گونه‌های سوزنی‌برگ می‌توان به کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw) اشاره داشت که بطور گسترده‌ای در جنگل-کاری‌ها و فضای سبز شهری در مناطق خشک و نیمه‌خشک تا نیمه مرطوب کشور و احیای زمین‌های مخروبه استفاده می‌شود. کسب آگاهی در خصوص رفتار جوانه‌زنی بذر گونه مورد مطالعه به تنش خشکی و میزان اثربخشی تکنیک پرایمینگ تحت شرایط تنش خشکی برای استقرار موفقیت‌آمیز آن برای مناطق مختلف جنگل‌کاری امری ضروریست. در بسیاری از نهالستان‌های منطقه خشک

و نیمه‌خشک کشور، نهال تولیدی گونه کاج تهران در مواجه با شرایط خشکی درصد استقرار کمی پیدا می‌کند. بنابراین پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر تیمار اسموپرایمینگ بر برخی صفات فیزیولوژیکی بذر کاج تهران تحت تنش خشکی در شرایط آزمایشگاه انجام شده است.

مواد و روشها

پژوهش حاضر در آزمایشگاه مطالعات بذر دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس انجام شد. بذرهای مورد استفاده در این پژوهش از مرکز بذر جنگلی خزر آمل با مشخصات مبدأ خراسان، قوه نامیه ۹۳٪، خلوص ۹۹/۷٪، رطوبت ۹٪، تعداد ۱۷۰۰۰ در کیلوگرم و وزن هزار دانه ۶۷/۹۳ گرم و یکنواختی در اندازه و وزن تهیه شدند.

آزمایش اسموپرایمینگ: برای انجام تیمار اسموپرایمینگ، ابتدا ۶۰۰ عدد بذر کاج تهران برای هر یک از مدت زمان‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ توزین و در داخل کیسه‌های توری جداگانه (بطور کلی ۳ کیسه) قرار داده شد. در ضمن ۶۰۰ عدد بذر در یک کیسه (به‌عنوان شاهد) نیز در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد تا قبل از انجام آزمایش جوانه‌زنی ذخیره شد. سپس برای انجام مطالعه اسموپرایمینگ کیسه‌های حاوی بذر بمدت زمان‌های ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت در محلول پرایمر اسمزی ۲- بار در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد شناور و در شرایط تاریکی در انکوباتور قرار داده شدند (۱۵). برای ایجاد این سطوح پتانسیل اسمزی از پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ از رابطه ۱ استفاده گردید (۳۵):

$$\psi_s = -(1.18\times10^{-2})C - (1.18\times10^{-4})C^2 + (2.67\times10^{-4})CT + (8.39\times10^{-7})C^2T \qquad [۱]$$

Ψ s= پتانسیل اسمزی پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ بر حسب بار، C= مقدار گرم از پلی‌اتیلن‌گلایکول ۶۰۰۰ در یک کیلوگرم آب و T= دمای محلول برحسب درجه سانتی‌گراد (۲۰ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. همچنین برای اندازه‌گیری دقیق پتانسیل اسمزی محلول از دستگاه اسمومتر (Wescor-5520 USA) نیز استفاده شد. محلول‌های تهیه شده با پلی‌اتیلن‌گلایکول به‌منظور حل شدن در آب بمدت ۱۶ ساعت درون دستگاه لرزاننده قرار داده شدند.

فرایند پرایمینگ از لحاظ زمانی بگونه‌ای انجام شد که در پایان آن همه تیمارها بطور همزمان از محلول پرایمر اسمزی خارج شدند. تمامی بذرهای پرایم شده بعد از خروج از محلول بمدت ۲ دقیقه با آب مقطر برای رفع مواد باقیمانده روی بذرها شستشو شدند. فرایند خشکاندن بذرهای پرایم شده در دمای اتاق با توزین روزانه آنها تا رسیدن میزان رطوبت به مقدار قبل از پرایم شدن انجام شد و با رسیدن رطوبت بذرهای پرایم شده به رطوبت اولیه قبل از پرایم شدن، فرایند اسموپرایمینگ پایان یافت (۱۹).

آزمایش تنش خشکی: آزمایش تحت فاکتوریل و در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار و ۴ سطح اسموپرایمینگ (شاهد، ۲۴ ساعت، ۴۸ ساعت و ۷۲ ساعت) و ۸ سطح تنش خشکی (۰، ۲-، ۴-، ۶-، ۸-، ۱۰-، ۱۲- و ۱۴- بار) مطابق جدول ۱ انجام شد. در ابتدای آزمایش جوانه‌زنی مجموعه پتری‌دیش‌ها (۹۶ عدد) و بستر بذر (کاغذ واتمن) در اتوکلاو در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد و بمدت ۲۰ دقیقه استریل شد. بذرها با تعداد ۲۴۰۰ عدد (بذرهای شاهد و بذرهای پرایم شده با مدت زمانهای ۲۴، ۴۸ و ۷۲ ساعت) با قارچ‌کش کربوکسین تیرام (۲ در هزار) ضدعفونی و بعد با آب مقطر شسته شدند. برای هر کدام از سطوح تنش خشکی (۸ سطح) ۳ تکرار ۲۵ تایی از بذرهای پرایم شده و شاهد در داخل پتری‌دیش‌هایی با قطر ۹ سانتی‌متر و دو لایه کاغذ صافی واتمن قرار داده شد؛ سپس

محلول‌های تهیه شده خشکی با سطوح ۰، ۲-، ۴-، ۶-، ۸-، ۱۰-، ۱۲- و ۱۴- بار (برای هر پتری‌دیش ۶ میلی‌لیتر) هر ۴۸ ساعت یک‌بار به پتری‌دیش‌ها اضافه شدند (۱۸). پتری-دیش‌های حاوی بذر بمدت ۳۵ روز در ژرمیناتور با تنظیم ۱۶ ساعت روشنایی (شدت نور ۱۰۰۰ لوکس)، رطوبت نسبی ۶۵٪ و دمای ۲۰ ± ۵ °C نگهداری گردیدند (۲۸). در طی دوره آزمایش به‌منظور ممانعت از تجمع محلول در محیط بذر و ثابت ماندن پتانسیل رطوبتی، کاغذهای صافی هر ۵ روز یک‌بار تعویض شد (۱۸).

شمارش بذرهای جوانه‌زده با مشاهده اولین بذر جوانه‌زده آغاز شد و بصورت روزانه تا سبز شدن تمامی بذرهای واجد قوه‌نامیه و اطمینان از تمام شدن جوانه‌زنی بذرها ادامه یافت.

جدول ۱- روش تعیین پتانسیل‌های تنش خشکی

سطح تنش	طرز تهیه محلول
۰ بار	۱۰۰ گرم آب مقطر
۲- بار	۱۱/۲۹ گرم پلی‌اتیلن‌گلایکول + ۱۰۰ گرم آب
۴- بار	۱۷/۰۲ گرم پلی‌اتیلن‌گلایکول + ۱۰۰ گرم آب
۶- بار	۲۱/۴۷ گرم پلی‌اتیلن‌گلایکول + ۱۰۰ گرم آب
۸- بار	۲۵/۲۳ گرم پلی‌اتیلن‌گلایکول + ۱۰۰ گرم آب
۱۰- بار	۲۸/۵۵ گرم پلی‌اتیلن‌گلایکول + ۱۰۰ گرم آب
۱۲- بار	۳۱/۵۶ گرم پلی‌اتیلن‌گلایکول + ۱۰۰ گرم آب
۱۴- بار	۳۴/۳۲ گرم پلی‌اتیلن‌گلایکول + ۱۰۰ گرم آب

جدول ۲- فرمول محاسباتی شاخص‌های جوانه‌زنی

شماره معادله	صفات مورد مطالعه	نحوه محاسبه صفات	منابع
[۲]	جوانه‌زنی (درصد)	$GR= n/(N\times100)$	(۳۸)
[۳]	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)	$GS= \sum(ni/ti)$	(۲۹))
[۴]	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)	$MGT= \sum (ni .ti) / \sum n$	(۲۹)
[۵]	قدرت جوانه‌زنی (درصد)	$GE= Mcgr/(N \times100)$	(۳۸)
[۶]	شاخص بنیه بذر	$SVI= GR \times Mean (Sl+Rl)/100$	(۲۸)

n= تعداد کل بذرهای جوانه زده در طی دوره ni = تعداد بذرهای جوانه زده در یک فاصله زمانی مشخص ti (در این تحقیق هر ۳ روز)

N = تعداد بذرهای کاشته شده (در این تحقیق ۲۵ بذر) Mcgr = حداکثر درصد تجمعی بذرهای جوانه‌زده

ti = تعداد روزهای پس از شروع جوانه‌زنی Sl= طول ساقه‌چه و Rl= طول ریشه چه

جدول۳- نتایج تجزیه واریانس شاخص‌های جوانه‌زنی با تیمارهای پرایمینگ و تنش خشکی و اثر متقابل آنها

منابع تغییرات	درجه آزادی		جوانه‌زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)	قدرت جوانه‌زنی (درصد)	شاخص بنیه بذر
پرایمینگ	۳	F	۴۲/۵۶۱	۹۲/۳۰۶	۶۴/۱۶۳	۶۰/۸۵۶	۱۸۳/۷۳۲
		P	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*
تنش خشکی	۷	F	۵۲/۹	۳۱/۲۱۹	۶/۱۳۱	۴۸/۵۵۱	۱۸۷/۴۱۹
		P	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*	۰/۰۰۰*
پرایمینگ*تنش خشکی	۲۱	F	۱/۹۲۳	۳/۰۱۲	۰/۴۵۶	۱/۵۹۲	۴/۶۳۶
		P	۰/۰۲۴*	۰/۰۰۰*	۰/۹۶۲*	۰/۰۰۸*	۰/۰۰۰*

*معرف معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌هاست.

معیار جوانه‌زنی بذر، خروج ریشه‌چه به طول حداقل ۲ میلی‌متر بود (۴۱). برای اندازه‌گیری طول ریشه‌چه و ساقه‌چه از هر پتری‌دیش بطور تصادفی ۷ نمونه برداشت شد و بعد قسمت هوایی و ریشه‌چه از هم جدا شدند و با خط‌کش بر حسب میلی‌متر محاسبه شد. آنگاه با استناد بر معادلات ارائه شده توسط محققان (جدول ۲) اندازه‌های صفات جوانه‌زنی انجام شد.

تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS (Ver. 17) انجام شد. ابتدا شرط نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و همگنی واریانس داده‌ها به وسیله آزمون لون آزمایش شد. سپس برای تعیین اختلاف آماری داده‌ها از آزمون تجزیه واریانس دو طرفه و برای مقایسه میانگین‌ها در صورت همگنی واریانس‌ها، از آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در صورت عدم همگنی واریانس‌ها از آزمون دانت تی ۳ استفاده شد. برای تعیین رابطه بین تیمارهای پرایمینگ و تنش خشکی با درصد جوانه‌زنی نیز از رگرسیون چندگانه استفاده شد.

نتایج

نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تأثیر تیمارهای پرایمینگ و تنش خشکی روی همه صفات جوانه‌زنی مورد مطالعه معنی‌دار است اما اثر متقابل پرایمینگ و تنش خشکی روی همه صفات مورد بررسی بجز میانگین زمان جوانه‌زنی اثر معنی‌داری دارد (جدول ۳).

همانگونه که در جدول ۴ نیز مشخص است تیمار پرایمینگ با مدت زمان ۷۲ ساعت در سطح تنش خشکی صفر بار و تیمار پرایم نشده در سطح تنش خشکی ۶- بار به‌ترتیب بیشترین و کمترین میانگین همه شاخص‌های جوانه‌زنی بجز میانگین زمان جوانه‌زنی را دارا می‌باشند و بیشترین میانگین زمان جوانه‌زنی در تیمار پرایم نشده مشاهده می‌شود (جدول ۴). مقایسه میانگین اثر تنش خشکی بر صفات مورد بررسی نشان داد که بطور کلی در همه تیمارهای پرایمینگ و شاهد تنش خشکی اثر کاهنده‌ای بر درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه داشته است؛ در نتیجه با افزایش میزان تنش و غلظت پلی‌اتیلن‌گلایکول از میزان صفات جوانه‌زنی مذکور کاسته شده است، به‌نحوی‌که این صفات جوانه‌زنی در بذور پرایم نشده در سطوح تنش خشکی بیشتر از ۶- بار متوقف شده، اما در بذرهای پرایم شده با وجود کاهش صفات مذکور حتی در تنش ۱۴- بار نیز جوانه‌زنی متوقف نشده است. به‌هرحال افزایش تنش خشکی بطور کلی باعث افزایش معنی‌دار میانگین زمان جوانه‌زنی در همه تیمارهای پرایمینگ و پرایم نشده گردید.

معادله رگرسیونی تیمارها: مدل ارائه شده در جدول ۵، معادله رگرسیونی بین تیمارهای پرایمینگ و سطوح مختلف تنش خشکی با درصد جوانه‌زنی را نشان می‌دهد. به‌طوری‌که ضرایب پارامترها و همچنین ضریب تعیین چندگانه (R2) مدل برای تیمارهای پرایمینگ و تنش خشکی معنی‌دار بودند (جدول ۵).

بحث و نتیجه‌گیری

پرایمینگ: طبق نتایج تحقیق حاضر، تیمار پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی تأثیر معنی‌دار داشت که با نتایج تحقیقات Balltista-Calles و همکاران در مورد *Carica papaya* L. و Brancalion و همکاران در مورد *Guazuma ulmifolia* مطابقت دارد (۱۵ و ۲۰). توسعه و نمو جنین طی پرایمینگ باعث فشردگی آندوسپرم می‌شود (۳۶). بدنبال این نیروی فشار جنین و فعالیت‌های هیدرولیکی دیواره‌ی سلولی آندوسپرم ممکن است منجر به تخریب بافت‌هایی شود که انعطاف‌پذیری خود را بعد از خشک شدن از دست داده‌اند و همین امر منجر به سهولت خروج ریشه‌چه پس از آبدهی بذر شود (۳۱). تکنیک اسموپرایمینگ ممکن است از طریق فعالیت‌های احتمالی همانند فعال شدن تنفس (۱۶)، همانند سازی DNA، تحریک فعالیت RNA و در نتیجه پروتئین سازی، ترمیم غشای سلولی، افزایش هورمون‌های محرک

جوانه‌زنی، فعال‌سازی آنزیم‌ها، تجزیه بخشی از پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، حذف رادیکال‌های فعال اکسیژن و آغاز مجدد چرخه سلولی (۱۴) باعث بهبود درصد جوانه‌زنی - شود.

جدول۴- میانگین شاخص‌های جوانه‌زنی در تیمارهای اثر متقابل اسموپرایمینگ و تنش خشکی

	تیمار تنش خشکی	جوانه‌زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)	میانگین زمان جوانه‌زنی (روز)	قدرت جوانه‌زنی (درصد)	شاخص بنیه بذر
شاهد (پرایمینگ صفر ساعت)	۰ (آب مقطر)	۶۹/۷۵(۲/۷)b	۱/۰۹(۰/۴)d-j	۱۳/۰۰(۱/۱)b-e	۳۱/۴(۱/۷)b-e	۵۴/۶۸(۳/۸)c
	-۲	۵۴/۸۵(۱/۷)b-e	۰/۸۴(۰/۱)e-k	۱۴/۲۶(۱/۳) b	۲۵/۲۸ (۱/۵)h-k	۱۹/۶۹(۱/۷)h-j
	-۴	۲۴/۸۴(۲/۴)h-j	۰/۴۷(۰/۳)j-l	۱۸/۴(۲/۲)a	۱۲/۲۸(۰/۰۵)k-m	۱۷/۳۴(۰/۰۷)ij
	-۶	۱۰/۲۷(۱/۶)jk	۰/۳۱(۰/۰۱)kl	۱۹/۴۴(۲/۴)a	۱۱/۷۹(۰/۰۷)k-m	۶/۰۱(۰/۹)kl
	-۸	-	-	-	-	-
	-۱۰	-	-	-	-	-
	-۱۲	-	-	-	-	-
	-۱۴	-	-	-	-	-
پرایمینگ ۲۴ ساعت	۰ (آب مقطر)	۹۰/۶۰(۳/۵) a	۱/۲۴(۰/۳)c-h	۱۰/۲۸(۰/۷)d-j	۵۰/۲۳(۲/۷)a-c	۶۴/۱۸b
	-۲	۶۴/۱۲(۲/۴)b-d	۱/۳(۰/۲۹)c-g	۱۱/۰۸(۰/۸)b-h	۴۴/۱ (۳/۲۶)b-f	۵۲/۲۵(۳/۳)c
	-۴	۴۶/۹۷(۱/۶)c-g	۰/۹۳(۰/۲۶)d-k	۱۲/۲۱(۰/۵)b-g	۳۹/۶۲(۲/۲۹)c-g	۳۲/۶۲e-g
	-۶	۳۸/۲۲(۰/۱)e-i	۰/۷۱(۰/۰۲)g-k	۱۲/۷۵(۰/۳)b-f	۲۵/۶۴(۱/۲۶)g-k	۴۱/۹۸(۲/۵)de
	-۸	۴۲/۲۷(۲/۵)e-i	۰/۷۲(۰/۰۹)g-k	۱۳/۵۱(۱/۲)b-d	۳۱/۳۳(۲/۷)f-i	۲۹/۹۸(۲/۴)fg
	-۱۰	۳۴/۶۹(۱/۳) e-j	۰/۵۲(۰/۰۰)i-l	۱۲/۸۱(۱/۱)b-g	۱۶(۱/۴)j-l	۲۴/۰۱(۰/۹)g-i
	-۱۲	۳۰/۲۷(۱/۸)f-k	۰/۳۱(۰/۰۰)kl	۱۳/۶۳(۱/۲)bc	۱۲/۵۳(۰/۸۷)k-m	۱۶/۳۴(۱/۷)ij
	-۱۴	۱۷/۱۲(۰/۰۰)j-l	۰/۵۹(۰/۰۰)h-l	۱۳/۷۴(۰/۴)bc	۹/۳۳(۰/۳)lm	۱۰/۲(۱/۳)j-l
پرایمینگ ۴۸ ساعت	۰ (آب مقطر)	۸۸/۶۵(۱/۳) a	۲/۲(۰/۲)b	۸/۵۵(۰/۱)jk	۵۵(۰/۶)ab	۹۲/۸۶(۳/۹) a
	-۲	۶۹/۷۵(۲/۳)b	۱/۱۹(۰/۱)c-h	۸/۹۹(۰/۲)i-k	۴۸/۸۷(۲/۶)b-d	۶۵/۳۱(۲/۵)b
	-۴	۵۱/۸۷(۲/۶)b-e	۱/۱۶(۰/۱)c-i	۹/۴۸(۰/۶)g-k	۳۳/۹۳(۱/۷)e-h	۵۴/۳۸(۲/۶)c
	-۶	۴۳/۳۷(۲/۵)d-h	۰/۹۸(۰/۱)d-j	۹/۳۴(۰/۴)g-k	۳۵/۴۴(۱/۷)d-h	۴۶/۸۵(۱/۷)cd
	-۸	۴۴/۳۸(۲/۱)d-h	۰/۹۸(۰/۲)d-j	۹/۹۶(۰/۳)e-j	۲۵/۱۶(۱/۲)h-k	۳۶/۳۶(۲/۸)ef
	-۱۰	۳۸/۱۲(۱/۷)e-i	۰/۶۵(۰/۰۰)g-k	۱۰/۶۹(۲/۹)c-i	۲۰(۱/۱)i-l	۳۰/۴۷(۱/۷)fg
	-۱۲	۲۸(۲/۳)g-i	۰/۳۱(۰/۰۱)kl	۹/۵۱(۰/۶)g-k	۱۱/۹۳۸(۰/۹)k-m	۱۸/۱۳(۰/۶)ij
	-۱۴	۱۹/۵۱(۱/۴)i-l	۰/۳۱(۰/۰۰)kl	۱۱/۰۷(۰/۳)b-h	۹/۵۴(۰/۹)lm	۱۰/۸۹(۱/۳)jk
پرایمینگ ۷۲ ساعت	۰ (آب مقطر)	۹۱/۳۴(۲/۱)a	۴/۱۳(۰/۸)a	۷/۴۲(۰/۵)k	۶۲/۵(۱/۵) a	۹۶/۱۳(۳/۷)a
	-۲	۶۷/۵۲(۳/۶)bc	۲/۱۶(۰/۴)b	۸/۷۴(۰/۵)h-k	۵۵/۱۱(۱/۴)ab	۶۷/۰۳(۳/۱)b
	-۴	۵۵/۰۷(۲/۹)b-e	۱/۷۵(۰/۳)bc	۹/۵۳(۰/۶)g-k	۳۷/۲۷(۱/۱)c-h	۵۳/۴۴(۱/۹)c
	-۶	۴۳/۳۷(۱/۴)d-h	۱/۵۱(۰/۳)cd	۹/۱۲(۰/۱)h-k	۳۲/۷۲(۰/۶)e-i	۳/۷۵(۰/۸)d-f
	-۸	۵۵/۹(۲/۹)b-e	۱/۵۶(۰/۳)cd	۸/۹۶(۰/۲)h-k	۳۶/۵۷(۱/۶)c-h	۳/۹۷(۲/۲)d-f
	-۱۰	۵۴/۸۴(۲/۵)b-e	۱/۳۸(۰/۰۰)c-f	۹/۳۶(۰/۱۵)g-k	۳۴/۳۳(۱/۷)e-h	۲/۶۹(۲/۷)f-h
	-۱۲	۳۹/۳۳(۲/۹)e-i	۱/۴۴ (۰/۰۲)c-e	۹/۴(۰/۳)g-k	۲۸/۳۸(۱/۲)g-j	۲۵/۱۴(۳/۷)g-i
	-۱۴	۴۶/۹۷(۲/۷)c-g	۱/۲۶(۰/۰۰)c-g	۹/۸۱(۰/۱)g-k	۳۱/۵۷(۱/۳)f-i	۱۴/۹۶(۱/۵)i-k

اعداد داخل پرانتز اشتباه معیار هستند. علامت – معرف عدد صفر در ارزش‌های مطالعه شده است.

حروف مختلف کوچک در ستون مربوط به هر پارامتر و مربوط به ۵۶ تیمار مبین معنی‌دار بودن میانگین در سطح ۰/۰۵ با استفاده از آزمون دانکن می‌باشد (مقایسه میانگین‌های پارامتر میانگین زمان جوانه‌زنی بعلت ناهمگن بودن داده‌ها با استفاده از آزمون دانت تی ۳ انجام شد).

جدول ۵- پارامترها و ضریب تعیین چندگانه برای تعیین درصد جوانه‌زنی بذرهای کاج تهران در تیمارهای اسموپرایمینگ و تنش خشکی

پارامترهای مدل	مقدار	خطای استاندارد	سطح احتمال
a	۱۰/۵	۱/۴۹	۰/۰۰۰**
b	-۴/۳۶	۰/۳۸	۰/۰۰۰**
c	۴۸/۱۴	۴/۹۱	۰/۰۰۰**
R^2	۰/۶۶۱	-	۰/۰۰۰**
مدل	$Y=۱۰/۵X_۱-۴/۳۶X_۲+۴۸/۱۴$		

**: معرف معنی‌دار بودن اختلاف بین میانگین‌هاست. X۱= تیمار پرایمینگ و X۲= تنش خشکی

در تحقیق حاضر افزایش طول مدت پرایمینگ باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی شد. در این راستا Adams و همکاران با بررسی اثر اسموپرایمینگ روی *C. vercuosa* و *C. preissii* دریافتند که اسموپرایمینگ باعث افزایش سرعت جوانه‌زنی و کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی هر دو گونه شد (۶). Afzal و همکاران گزارش کردند که افزایش سرعت جوانه‌زنی بذرهای پرایم شده نسبت به بذرهای شاهد ممکن است به افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده مثل آلفا- آمیلاز، افزایش سطح شارژ انرژی زیستی بصورت افزایش مقدار ATP، افزایش سنتز RNA و DNA، افزایش تعداد و ارتقاء عملکرد میتوکندری‌ها نسبت داده شود (۷). علت کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی در طول زمان طولانی اعمال پرایمینگ در گزارش Bose و Mishra به افزایش احتمالی سرعت تقسیم سلولی در بذرهای پرایم شده نسبت داده شد (۱۷). همچنین در اثر سنتز DNA، RNA و پروتئین در طی پرایمینگ (۳۳) بسیاری از مراحل فیزیولوژیکی کامل شده و بذر در آستانه جوانه‌زنی قرار گرفته است (۲۳،۱۹) و به محض جذب آب و احیا شدن متابولیسم بذر، جوانه-زنی شروع می‌شود و در نتیجه میانگین زمان جوانه‌زنی کاهش می‌یابد. همچنین آنزیم‌هایی مانند آمیلاز، پروتئاز و لیپاز نقش مهمی در شروع رشد و توسعه جنین دارند. افزایش فعالیت این آنزیم‌ها طی پرایمینگ باعث کاهش میانگین زمان جوانه‌زنی می‌شود.

طبق نتایج تحقیق حاضر قدرت جوانه‌زنی و شاخص بنیه بذرهای پرایم شده نسبت به شاهد افزایش یافت. قدرت جوانه‌زنی بذر بدلیل اینکه جوانه‌زنی و یکنواخت سبز شدن را در شرایط عرصه برای ما مشخص می‌کند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. Ruan و همکاران (۴۰) و Brancalion و همکاران (۲۰) روی *Guazuma ulmifolia* ضمن دستیابی به نتایج مشابه دریافتند که تکنیک پرایمینگ احتمالا باعث ترمیم غشای آسیب دیده بذر (در نتیجه زوال) و همچنین تغییرات در رشد محور جنینی و نمو در مراحل بعدی و در نتیجه افزایش قدرت جوانه‌زنی می‌شود. علت افزایش شاخص بنیه می‌تواند مربوط به حرکت ذخایر غذایی، فعالیت و سنتز مجدد بعضی آنزیم‌ها، شروع سنتز مجدد RNA و DNA و رشد سریع جنین بدنبال برطرف شدن موانع جوانه‌زنی در پرایمینگ اسمزی باشد (۱۴).

تنش خشکی: در تحقیق حاضر اثر کاهنده‌ی تنش خشکی روی درصد جوانه‌زنی با تحقیقات Gholami و همکاران (۲۵) در بررسی جوانه‌زنی چهار گونه بادام وحشی (Wild Almond) و An و همکاران (۱۲) روی *Periploca sepium* Bunge مطابقت دارد. کاهش درصد جوانه‌زنی با افزایش تنش خشکی در بذر گونه مورد مطالعه می‌تواند مربوط به ممانعت از جذب آب توسط بذر در شرایط تنش خشکی باشد. بطور کلی جوانه‌زنی بذر با جذب آب آغاز و بوسیله حوادث پیاپی بیوشیمیایی در بذر دنبال می‌شود (۳ و ۲۶). در این مراحل فعال‌سازی متابولیسم، هضم مواد ذخیره‌ای و انتقال به جنین، تقسیم سلولی و رشد شکل می‌گیرد (۱۰).

این در حالیست که تنش خشکی با تأثیر بر حرکت و انتقال ذخایر و یا با تأثیر مستقیم بر ساختمان آلی و سنتز پروتئین در جنین موجب کاهش جوانه‌زنی می‌شود (۲۲،۲۱). علاوه بر این علت کاهش درصد جوانه‌زنی در گزارش Van Gastel و همکاران (۴۴)، انتشار کند آب در پوسته‌ی بذر اعلام گردید.

طبق نتایج تحقیق حاضر با افزایش تنش خشکی سرعت جوانه‌زنی و قدرت جوانه‌زنی کاهش یافت. در این راستا Muscolo و همکاران (۳۷) روی *Pinus pinea* و Ahmadloo و همکاران (۹) روی *C.arizonica* و *C. sempervirens* به نتایج مشابه دست یافتند. علت کاهش سرعت جوانه‌زنی و قدرت جوانه‌زنی با افزایش تنش اسمزی می‌تواند ناشی از عدم تبادل گاز، افزایش متابولسیم‌های غیر هوازی و محدودیت اکسیژن در بذر باشد (۴۵). همچنین این می‌تواند مربوط به کاهش فعالیت آنزیم‌های هیدرولیزکننده‌ی ذخایر کوتیلدون برای فراهم کردن انرژی در مراحل اولیه رشد بذر و در نتیجه ممانعت از انبساط سلول تحت تنش اسمزی باشد (۴۲).

در تحقیق حاضر تنش خشکی باعث افزایش معنی‌دار میانگین زمان جوانه‌زنی گردید که با تحقیقات Boydak و همکاران (۱۸) روی *Pinus brutia* و Maraghani و همکاران (۳۲) روی *Ziziphus lotus* مطابقت دارد. Almansouri و همکاران (۱۱)، Gholami و همکاران (۲۵) و احمدلو و همکاران (۱) نیز ضمن دستیابی به نتایج مشابه دریافتند که افزایش معنی‌دار میانگین زمان جوانه‌زنی بدنبال کاهش پتانسیل اسمزی ممکن است به طولانی شدن فاز تأخیر بین مرحله جذب آب و مرحله خروج ریشه‌چه مربوط باشد. این به این دلیل است که در طی این دوره افزایش محتوای رطوبتی بذر به کندی صورت می‌گیرد (۵). کاهش شاخص بنیه با افزایش تنش خشکی در تحقیق حاضر با مطالعه Zhu و همکاران (۴۶) روی *Pinus* sylvestris مطابقت دارد. احمدلو و همکاران (۱) نیز با بررسی روی گونه‌های *Pinus brutia* Ten. و *P. halepensis* Mill ضمن دستیابی به نتایج مشابه دریافتند که دلیل این امر می‌تواند احتمالا کاهش آب در دسترس و اختلال در فعالیت آنزیم‌ها برای انتقال مواد غذایی آندوسپرم و بافت‌های ذخیره‌ای بذر به جنین (۴۳) و کاهش ترشح هورمون‌ها و در نتیجه اختلال در رشد گیاهچه (ریشه‌چه و ساقه‌چه) باشد (۲).

طبق نتایج تحقیق حاضر مدل رگرسیونی تیمارهای اسموپرایمینگ و تنش خشکی به میزان ۶۶ درصد قادر است که مقادیر واقعی جوانه‌زنی را پیش‌بینی کند و باقی-مانده آنها با شاخص‌های دیگری مرتبط است که با شناسایی و ورود چنین شاخص‌هایی، این مدل با ضریب تشخیص بالاتری مقادیر جوانه‌زنی را برآورد می‌کند.

نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر پاسخ گونه مورد مطالعه به تیمار بذر مثبت بوده، به‌طوری‌که کلیه شاخص‌های مورد بررسی در بذرهای شاهد (پرایم نشده) تحت تنش‌های خشکی بیشتر از ۶- بار متوقف شده و در مقابل بذرهای پرایم شده به تنش‌های خشکی بالا (۸-، ۱۰-، ۱۲- و ۱۴- بار) مقاومت نشان دادند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که پرایمینگ به‌عنوان یک تیمار مناسب باعث افزایش عملکرد جوانه‌زنی و مقاوم شدن بذر *P. eldarica* در مقابل تنش خشکی گردید. با توجه به کاربرد وسیع گونه *P. eldarica* در جنگل‌کاری مناطق خشک و نیمه‌خشک و نیاز زیاد به تولید آن، بنابراین برای جوانه‌زنی مطلوب و تولید نهال‌های مقاوم در برابر تنش خشکی، تکنیک پرایمینگ در نهالستان‌های تولید نهال جنگلی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.

منابع

۱- احمدلو، ف، طبری، م، بهتری، ب. ۱۳۹۰. اثر تنش آبی بر برخی صفات فیزیولوژیکی بذر کاج حلب و کاج بروسیا، مجله زیست شناسی ایران، ۲۴ (۵): ۷۲۸-۷۳۶.

۲- اصغری، م. ۱۳۷۱. اثر اتیلن در تنظیم اسمزی و رشد بافتهای محوری و لپه ای دانه آفتابگردان در شرایط تنش خشکی، مجله علوم وصنایع کشاورزی، ۷: ۱۳۷-۱۴۵.

۳- سید شریفی، ر، سید شریفی، ر. ۱۳۸۷. بررسی اثرات PEG بر جوانه زنی و رشد گیاهچه ارقام گلرنگ، مجله زیست شناسی ایران، ۲۱ (۳): ۴۰۰-۴۱۰.

۴- کافی، م، مهدوی دامغانی، ع. ۱۳۸۱. مکانیسم های مقاومت به تنش های محیطی در گیاهان، تألیف: آمار جیت اس. بسرا و کا. بسرا. رانجیت، انتشارات دانشگاه فردوسی، مشهد، ۴۶۷ ص.

۵- مظاهری تیرانی، م، منوچهری کلانتری، خ. ۱۳۸۵. بررسی سه فاکتور سالیسیلیک اسید، تنش خشکی و اتیلن و اثر متقابل آنها بر جوانه زنی بذر کلزا (*Brassica napus* L.)، مجله زیست شناسی ایران، ۱۹ (۴): ۴۰۸-۴۱۸.

6- Adams, R. 1999. Germination of *Callitris* seeds in relation to temperature, water stress, priming, and hydration-dehydration cycles, Journal of Arid Environments, 43 (4): 437–448.

7- Afzal, I, Basra, S.M.A, Ahmad, R, Iqbal, A. 2002. Effect of different seed vigour enhancement techniques on hybrid maize (*Zea mays* L.), Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 39 (2): 109-112.

8- Afzal, I, Rauf, S, Basra, S.M.A, Murtaza, G. 2008. Halopriming improves vigor, metabolism of reserves and ionic contents in wheat seedlings under salt stress, Plant Soil and Environment, 54 (9): 382-388.

9- Ahmadloo, F, Tabari, M, Behtari, B. 2011. Effect of drought stress on the germination parameters of *Cupressus* seeds. International Journal of Forest, Soil and Erosion, 1 (1): 11-17.

10- Albeles, F.B, Lonsilk, J. 1996. Stimulation of lettuce seed germination by ethylene, Plant Physiology, 44 (4): 277-280.

11- Almansouri, M, Kinet, J.M, Lutts, S. 2001. Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat (*Triticum durum* Desf). Plant and Soil, 231 (2): 243-245.

12- An, Y.Y, Liang, Z.S, Zhang, Y. 2011. Seed germination responses of *periploca sepium* Bunge, a dominant shrub in the loess hilly regions of China, Journal of Arid Environments, 75 (5): 504-508.

13- Ashraf, M, Foolad, M.R. 2005. Pre sowing seed treatment – A Shtgun approach to improve germination, plant growth, and crop yield under saline and Non saline conditions, Advances in Agronomy, 88 (5): 223- 265.

14- Basra, S.M, Ullah, E, Warriach, E.A, Cheema, M.A, Afzal, I. 2003. Effect of storage on growth and yield of primed canola (*Brassica napus*) seeds, International Journal of Agriculture and Biology, 5 (2): 117-120.

15- Bautista-Calles, F, Carrillo-Castaneda, G, Villegas-Monter, A. 2008. Recuperation of the high germinability condition of *papaya* seed through priming technology and bioregulators, Agrociencia, 42 (7): 817-826.

16- Bewly, J.D, Black, M. 1994. Seeds: physiology of development and germination, Ed 2. Plenum Press, New York.

17- Bose, B, Mishra, T. 1992. Response of wheat seed to pre-sowing seed treatment with Mg (NO_3), Annals of Agricultural Research, 13: 132-136.

18- Boydak, M, Duruk, H, Tulku, F, Alikoulu, M. 2003. Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 27 (2): 91-97.

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

20- Brancalion, P.H.S, Tay, D, Novembre, A.D.L.C, Rodrigues, R.R, 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.

21- Dodd, G.L, Donovan, L.A. 1999. Water potential and ionic effects on germination and seedling grow of two cold desert shrubs, American Journal of Botany, 86 (8): 1146-1153.

22- Falleri, E, Muller, C, Laroppe, E. 2004. Effect of water stress on germination of beechnuts treated before and after storage, Canadian Journal of Forest Research, 34 (6): 1204-1209.

23- Foti, R, Abureni, K, Tigere, A, Gotosa, J, Gere, J. 2008. The efficacy of different seed priming osmotica on the establishment of maize (*Zea mays* L) caryopses, Journal of Arid Enviroments, 72 (6): 1127-1130.

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

25- Gholami, M, Rahemi, M, Kholdebarin, B. 2010. Effect of drought stress induced by polyethylene glycol9 on seed germination of four wild Almond species, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 4 (5): 785-791.

26- Greipsson, S. 2001. Effects of stratification and GA3 on seed germination of a sand stabilising grass Leymus arenarius used in reclamation, Seed Science and Technolgy, 29 (1): 1-10.

27- Hashemi Dezfule, A. Koucheki, A, Banayan Aval, M. 1998. Increasing crops yields, Jahad-e Daneshghahi Press, Mashad, Iran, pp. 287.

28- ISTA. 2009. International Seed Testing Association, ISTA Handbook on Seedling Evaluation, 3rd edition.

29- Kulkarni, M.G, Street, R.A, Staden, J.V. 2007. Germination and seedling growth requirements for propagation of *Diosscorea dregeana* (Kunth) Dur. and Schinz-A tuberous medicinal plant, South African Journal of Botany, 73 (1): 131-137.

30- Kumar, V, Rani, A, Pandey, V, Chauhan, G.S. 2006. Changes in germination and glyoxylate and respiratory isozymes and trypsin inhibitor activity in soybean during germination at different temperatures, Food Chemistry, 99: 563-568.

31- Lin, L.L, Wartman, M, Lin, A Knopf, J.L, Seth, A, Davis, R.J. 1993. cPLA2 is phosphorylated and activated by MAP kinase, Cell, 72 (2): 269 - 278.

32- Maraghni, M, Gorai, M, Neffati, M. 2010. Seed germination at different temperatures and water stress levels, and seedling emergence from different depths of *Ziziphus lotus*, South African Journal of Botany, 76 (3): 453–459.

33- Mcdoland, M.B. (1999). Seed deterioration: physiology, repair and assessment. Seed Science and Technology, 27 (1): 177-237.

34- McDonald, M.B. 2000. Seed priming. In: Black, M., Bewley, J.D., (Eds.), Seed Technology and its Biological Basis, Sheffield Academic Press, Sheffield, UK, 287-325. CRC Press LLC, Boca Raton, FL, U.S.A.

35- Michel, B.E, Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000, 51 (5): 914-916.

36- Mohammadi, G.R. 2009. The Influence of NaCl priming on seed germination and seedling growth of Canola (*Brassica napus* L.) under salinity conditions, American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science, 5 (5): 696-700.

37- Muscolo, A, Sidari, M, Mallamaci, C, Attin, E. 2007. Changes in germination and glyoxylate and respiratory enzymes of *pinus pinea* seeds under various abiotic stresses, Journal of Plant Interactions, 2 (4): 273-279.

38- Panwar, P, Bhardwaj, S.D. 2005. Handbook of practical forestry, Agrobios (INDIA), 191p.

39- Rodriguez, R.J, Redman R.S, Henson J.M. 2004. The role of fungal symbioses in the adaptation of plants to high stress environments. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 9 (3): 261–272.

40- Ruan, S, Xue, Q, Tylkawska, K. 2002. The influence of priming on germination of rice seeds and seedling emergence and performance in flooded soil. Seed Science and Technology, 30 (1): 61-67.

41- Sidari, M, Mallamaci, C, Muscolo, A. 2008. Drought, salinity and heat differently affect seed germination of *Pinus pinea*, Journal of Forest Research, 13 (5): 326–330.

42- Stout, D.G, Simmpson, G.M, Flotre, D.M. 1980. Drought resistance of *Sorghum bicolor* L.Moench. 3. Seed germination under osmotic stress, Canadian Journal of Plant Science, 60 (1): 13-24.

43- Trautwein, E.A, Kunath-Rau, A, Dietrich, J, Drusch, S, Erbersdobler, H.F. 1997. Effect of dietary fats rich in lauric, myristic, palmitic, oleic or linoleic acid on plasma, hepatic and biliary lipids in cholesterol-fed hamsters. British Journal of Nutrition, 77 :4. 605-620.

44- Van Gastel, A.J.G, Pagnotta, M.A, Porceddu, E. 1996. Seed science and technology, ICARDA, 311p.

45- Yoon, B.H, Lang, H.J, Cobb, B.G. 1997. Priming with salt solution improves germination of pansy seed at high temperature, Horticulture Science, 32 (2): 248-250.

46- Zhu, J, Kang, H, Tan, H, Xu, M. 2006. Effects of drought stresses induced by polyethylene

glycol on germination of *Pinus sylvestris* var. Mongolia seeds from natural and plantation forests on sandy land, Journal of Forest Research, 11 (5): 319–328.

Effect of osmopriming on germination and physiological characteristic of *Pinus eldarica* Medw. seed under drought stress

Javanmard Z., Tabari Kouchaksaraei M. and Ahmadloo F.

Forestry Dept., Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, I.R. of Iran

Abstract

In order to study on effect of osmopriming on seed germination of *Pinus eldarica* Medw. under drought stress, a factorial experiment in randomized completely design was carried out at the laboratory of Tarbiat Modares University with three replications and four levels of priming (control and osmopriming with duration 24, 48 and 72 hours) and eight levels of drought stress (0, -2, -4, -6, -8, -10, -12 and -14 bar) by Polyethylene Glycol 6000. For this purpose, the seeds were kept for 35 days in germinator at 20 ± 0.5 °C. The results indicated that priming and drought stress and their interaction had significant effect on germination percent, germination speed, germination energy and vigor index. The highest and lowest mean germination parameters (except mean germination time) were observed in osmopriming with duration 72 hour under 0 bar and control under -6 bar, respectively. In interaction of priming and drought stress, germination traits in control seeds inhibited in drought levels more than -6 bar but germination in primed seeds continued until drought -14 bar.

Key words: Polyethylene glycol 6000, Osmotic stress, Vigor index, Energy germination.