به‌زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ۳ ■ پاییز ۱۳۹۷
صفحه‌های ۵۹۳-۵۷۷

اثر تیمارهای مختلف پوشش بذر بر جوانه‌زنی کلزا در شرایط تنش خشکی و شوری: با استفاده از راهبرد مدلسازی

شیرین تقی‌ذوقی[۱]، الیاس سلطانی[۲*]، ایرج الهدادی[۳]، رضا صادقی[۴]

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
۲. استادیار، گروه زراعت واصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
۳. استاد، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.
۴. استادیار، گروه گیاهپزشکی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۵/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۱۲

چکیده

این پژوهش به‌منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف پوشش بذر بر جوانه‌زنی کلزا در شرایط تنش خشکی و شوری انجام شد. دو آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه مرکزی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران در سال ۱۳۹۶ انجام گرفت. در هر دو آزمایش یکی از فاکتورها شامل ۱۰ تیمار (T1 تا T10) مختلف پوشش بذر بود که از لحاظ نوع پرایمینگ، نوع پوشش و مصرف قارچکش تفاوت داشتند. فاکتور دوم در دو آزمایش متفاوت بود و در آزمایش اول، سطوح تنش خشکی صفر، ۰/۸-، ۱- و ۱/۲- مگاپاسگال و در آزمایش دوم سطوح تنش شوری صفر، هفت، ۱۴ و ۲۱ دسی‌زیمنس بر متر نمک NaCl مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که حداقل ضریب هیدروتایم (θ_H) در T9 (۲۲/۶۲۷ مگاپاسکال ساعت)، T3 (۲۲/۵۳۸ مگاپاسکال ساعت) و T6 (۲۲/۲۶۳ مگاپاسکال ساعت) مشاهده شد. کمترین مقدار پتانسیل پایه ($\Psi_{b(50)}$) مربوط به تیمارهای T4 (۱/۳۳۲- مگاپاسکال) و T1 (۱/۳۲۴- مگاپاسکال) بودند. حداکثر درصد جوانه‌زنی در شرایط شوری مربوط به T2 (۸۶/۷۵ درصد) بود. بیشترین مقدار آستانه تحمل به شوری (X_0) مربوط به T3 (۱۶/۳۸ دسی‌زیمنس بر متر) بود. بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تمام سطوح شوری مربوط به T3 بود. به‌طورکلی، تیمارهای T3، T6 و T9 در شرایط خشکی و T3 در شرایط شوری بهترین عملکرد را داشتند. همچنین، بررسی ارتباط بین پارامترهای مختلف مدل شوری و هیدروتایم نشان داد که با کاهش ضریب هیدروتایم مقدار آستانه تحمل به شوری افزایش خواهد یافت و با منفی‌تر شدن پتانسیل پایه حداکثر درصد جوانه‌زنی در شرایط شوری افزایش خواهد یافت. پرایمینگ با هیومیک اسید قبل از پوشش‌دهی بذر موجب بهبود سرعت جوانه‌زنی و افزایش آستانه تحمل به شوری و خشکی خواهد شد. در نتیجه می‌توان به تولیدکنندگان بذر توصیه نمود قبل از پوشش‌دار کردن بذر از پرایمینگ با هیومیک اسید استفاده کنند.

کلیدواژه‌ها: آستانه تحمل به شوری، آستانه تحمل به خشکی، پتانسیل آب، قدرت بذر، هیدروتایم.

* نویسنده مسئول
Email: elias.soltani@ut.ac.ir

۱. مقدمه

جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه از مراحل بحرانی و مهم در چرخه زندگی گیاهان است (Windauer *et al*., 2007). در واقع جوانه‌زنی بذر یک فرآیند بیولوژیکی پیچیده است که تحت تأثیر عوامل زیست‌محیطی و ژنتیکی گوناگون قرار می‌گیرد و به‌عنوان یکی از حیاتی‌ترین دوره‌ها در چرخه زندگی گیاهان در نظر گرفته می‌شود. جوانه‌زنی فرآیندی برگشت ناپذیر است و به محض آغازشدن، جنین بذر رشد یا مرگ را تجربه خواهد کرد (Bradford, 2002). بذرها دارای یک پتانسیل آب آستانه یا پایه[1] (Ψ_b) می‌باشند که در پتانسیل‌های کمتر (منفی‌تر) از آن بستر بذر برای جوانه‌زنی بسیار خشک است و امکان جوانه‌زنی وجود ندارد (Finch-Savage & Leubner-Metzger, 2006). میزان دسترسی به آب (پتانسیل آب[2] Ψ) سرعت جوانه‌زنی و کسر جوانه‌زنی بذرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Bewley *et al*., 2013). کاهش پتانسیل آب منجر به کاهش یکنواختی، کاهش سرعت جوانه‌زنی و کاهش سبز شدن می‌شود (Rosalind *et al*., 1994). با افزایش تنش خشکی درصد جوانه‌زنی بذور ارزن هندی (Manga, 1998)، گوجه‌فرنگی (Dahal & Bradford, 1990)، چغندرقند (Gummerson, 1986) و کلزا (Soltani *et al*., 2013) کاهش یافت. شوری از دیگر عوامل مهم محیطی است که موجب کاهش رشد و توسعه گیاهان در سراسر دنیا می‌شود (Amirjani, 2010; Sevengor *et al*., 2011; Zhani *et al*., 2012) یکی از مراحل حساس رشد گیاه به تنش شوری مرحله جوانه‌زنی است (Kader & Jutzi, 2004). آثار ناشی از تنش شوری بر گیاهان شامل سمیت یونی، تنش اسمزی، کمبود عناصر معدنی، اختلالات فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی و ترکیبی از همه این موارد است (Munns, 2002; Rajaravindran & Natarajan, 2012; Saleh, 2013). شوری عمدتاً بر جوانه‌زنی بذر تأثیر می‌گذارد (Misra & Dwivedi, 2004) و به نوبه خود موجب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه می‌شود (Almansouri *et al*., 2001).

در شرایط تنش‌های محیطی یکی از راه‌های افزایش سبزشدن و استقرار گیاهچه استفاده از تکنیک‌های بهبود بذر است. یکی از مفیدترین روش‌های بهبود بذر پوشش‌دار کردن بذر[3] است. در این روش مواد مختلفی از جمله سموم آفت‌کش، مواد تنظیم‌کننده رشد، کودها، مواد جاذب رطوبت، پوشش‌های حساس به حرارت و عناصر غذایی به‌همراه مواد چسبنده به سطح خارجی بذر اضافه می‌گردد که سبب بهبود جوانه‌زنی و کارآیی آن می‌شود (Kephart & Wichman, 2004; Saadat *et al*., 2015). دو روش پوشش بذر با کاربرد تجاری مورد استفاده قرار می‌گیرد که شامل حبه کردن[4] و پوشش دادن است. تکنیک حبه کردن بذر در سال ۱۹٤۰ میلادی در صنعت بذر توسعه پیدا کرد (McDonald & Copland, 1997). این تکنیک عبارت از افزودن مواد بی‌اثر به بذر به‌منظور تغییر شکل، وزن، اندازه و ساختمان سطح بذور با استفاده از مقادیر متفاوتی از مواد پرکننده و چسبنده است. حبه‌کردن بذر برای بهبود قابلیت کاشت و کارکرد بذر استفاده می‌شود. در واقع این ترکیبات، بذر را از تنش‌هایی که احتمال وقوع آن‌ها در محیط زیاد است محافظت می‌کنند (McDonald & Copland, 1997).

یکی از مشکلاتی که بعد از پوشش‌دار کردن بذرها مشاهده می‌شود، کاهش سرعت جوانه‌زنی بذرها است که موجب تأخیر سبز شدن و استقرار گیاهچه‌ها خواهد شد. نتایج آزمایشات مختلف روی پرایمینگ[5] بذرها نشان داده

1. Threshold or base water potential (Ψ_b)
2. Water potential (Ψ)
3. Seed Coating
4. Seed Pelleting
5. Priming

است که پرایمینگ بذر سبب افزایش سرعت جوانه‌زنی خواهد شد (Murungu *et al*., 2003; Demir Kaya *et al*., 2006). به‌دلیل ترمیم غشاها، افزایش سنتز پروتئین و پویایی بالاتر ذخایر پروتئینی و قندی طی پرایمینگ بذر (Soltani & Soltani, 2015)، بذرهای پرایمینگ‌شده میزان ATP[1] بالاتری داشتند و سرعت رشد جنین در آن‌ها نیز بالاتر بود (McDonald, 1999; Varier *et al*., 2010). در شرایط تنش‌های محیطی یکی از راه‌های افزایش مؤلفه‌های جوانه‌زنی و سبز شدن بذر، استفاده از تکنیک پرایمینگ است (Murungu *et al*., 2003; Demir Kaya *et al*., 2006). پرایمینگ یکی از روش‌های بهبود بذر است که می‌تواند باعث افزایش جوانه‌زنی و سبز شدن بذر شود. استفاده از روش پرایمینگ یکی از روش‌های بهبود کارکرد بذر و افزایش کیفیت بذر در شرایط نامساعد محیطی می‌باشد (Basra *et al*., 2004). این تکنیک باعث افزایش عملکرد در گیاهان شده است (Harris *et al*., 2001). گزارش شده است که این تکنیک باعث افزایش دامنه جوانه‌زنی بذرها در شرایط محیطی تنش‌زا از قبیل تنش شوری، خشکی و دما می‌شود (Fujikara *et al*., 1993). گزارش‌های مختلفی مبنی بر افزایش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی و سبز شدن در تنش‌های مختلف محیطی از قبیل شوری و خشکی با استفاده از تیمار پرایمینگ در گیاهان مختلف وجود دارد (Harris *et al*., 2001; Soltani & Soltani, 2015). گزارش‌ها نشان داده است که پرایمینگ باعث بهبود جوانه‌زنی بذرهای ذرت (Ashraf & Rauf, 2001)، آفتابگردان (Demir Kaya *et al*., 2006)، سورگوم (Foti *et al*., 2002)، پنبه (Murungu *et al*., 2003) و برنج (Basra *et al*., 2005) در شرایط تنش‌های محیطی گردید.

امروزه محققین برای پیش‌بینی جوانه‌زنی گیاهان از مدل‌ها استفاده می‌کنند. یکی از این مدل‌ها که حساسیت جوانه‌زنی بذور به تنش پتانسیل آب را تعیین می‌کند، مدل هیدروتایم می‌باشد که برای توصیف الگوی جوانه‌زنی بذرها در ارتباط با پتانسیل آب استفاده شده است (Larsen *et al*., 2004; Bradford & Still, 2004). سرعت جوانه‌زنی ژنوتیپ‌های مختلف گوجه‌فرنگی را با استفاده از مدل هیدروتایم مقایسه شد (Dahal & Bradford, 1990). در گزارش دیگری برای مقایسه شاخص‌های جوانه‌زنی و میزان مقاومت چهار لاین در نوعی لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) از مدل هیدروتایم استفاده شد (Bianconi & Cardoso, 2013). هیدروتایم مدلی است که الگوی جوانه‌زنی در واکنش به پتانسیل آب در محیط بذر را شرح می‌دهد. همچنین گزارش شده که، زمان برای جوانه‌زنی به بزرگی اختلاف بین پتانسیل آب بذر با محیط آن و آستانه پتانسیل فیزیولوژیکی برای خروج ریشه‌چه بستگی دارد (Gummerson, 1986).

در گزارشی مطرح شد که گونه‌های گیاهی از نظر میزان تحمل به شوری در سه گروه متحمل، متوسط و حساس قرار گیرند (Hanslin & Eggen, 2005). منحنی واکنش جوانه‌زنی گونه‌های متحمل به شوری ابتدا به‌صورت یک خط صاف است که بیانگر جوانه‌زنی بالای بذور در شوری است. این منحنی پس از گذشتن از آستانهٔ تحمل شکسته شده و جوانه‌زنی با شیب تندی کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر این گونه‌ها شوری را تا حد معین آستانه تحمل کرده و تنها بعد از این آستانه است که مقدار جوانه‌زنی آن‌ها با افزایش شوری کاهش می‌یابد. در گونه‌های متوسط کاهش درصد جوانه‌زنی با شیب ثابت مشاهده می‌شود و آستانهٔ تحمل برابر با صفر می‌باشد. در گروه سوم حساسیت به تنش شوری بسیار بالا بوده و منحنی واکنش جوانه‌زنی بذور نسبت به تنش شوری به

1. Adenosine Triphosphate

شکل یک تابع نمایی است (Hanslin & Eggen, 2005). محققان دیگری بر این اساس توابعی ارائه نمودند تا بتوان واکنش جوانه‌زنی بذرها نسبت به تنش شوری را کمی‌سازی نمود. که در این توابع مقدار آستانه تحمل به شوری، حداکثر جوانه‌زنی و میزان کاهش جوانه‌زنی به ازای افزایش هر واحد شوری قابل محاسبه است (Sadat-Noori *et al*., 2015).

اطلاعات در زمینه پوشش‌دار کردن بذر بسیار محدود است و کشورهای توسعه‌یافته از انتشار این اطلاعات خودداری می‌کنند. در ایران نیز پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است، ولی تعداد محدودی مقاله به چاپ رسانده شده است. در مورد پوشش‌دار کردن بذرهای پرایمینگ‌شده نیز اطلاعاتی یافت نشد. در نتیجه، این مطالعه هدفمند شده تا به بررسی، اثر تیمارهای مختلف پوشش‌دار کردن بذر بر جوانه‌زنی کلزا در شرایط تنش شوری و خشکی و مدل‌سازی جوانه‌زنی بذرهای پوشش داده شده در شرایط تنش شوری و خشکی بپردازد.

۲. مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف پوشش بذر بر جوانه‌زنی کلزا رقم نپتون در شرایط تنش خشکی و شوری، پژوهشی در سال ۱۳۹٦ در دو آزمایش جداگانه در شرایط تنش شوری و خشکی در دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان انجام شد. هر دو آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی با چهار تکرار در آزمایشگاه صورت گرفت. در هر دو آزمایش یکی از عوامل مورد بررسی تیمار پوشش بذر بود که در آن ۱۰ تیمار پوشش شامل یک تیمار شاهد (بذور پرایمینگ‌نشده)، سه تیمار پوشش و شش تیمار پلیت تهیه شدند. تیمارها از نظر نوع پوشش، پرایمینگ‌شدن و داشتن قارچکش با یکدیگر تفاوت داشتند. ترکیباتی که در تیمارهای مختلف پوشش (coat) و حبه‌کردن (pellet) به‌کار رفته بودند، در جدول (۱) خلاصه شده است. برای تهیه چسب، از ماده CMC[1] (کربوکسی متیل سلولز) استفاده شد. این ماده با غلظت ۳٪ در آب مقطر حل شد و به‌ازای هر ۱۰ گرم بذر، ۵ سی‌سی از محلول مورد نظر روی بذور ریخته شد و با حرکات دورانی دستگاه پوشش‌دار کردن بذر، پوشش مناسب روی بذور ایجاد شد. برای حبه‌کردن نیز از ماده CMC به‌عنوان چسب و ماده پرکننده استفاده شد. جهت استفاده به‌عنوان پرکننده به‌ازای هر ۱۰ گرم بذر ۵ گرم CMC (به‌عنوان ماده پرکننده) و ۲ گرم پودر رنگ، به بذور اضافه شد و با حرکات دورانی دستگاه حبه‌کردن بذرها صورت گرفت. در تیمارهایی که قارچ‌کش در آن‌ها به‌کار رفته بود نیز از دز توصیه شده ۲ در هزار استفاده گردید. برخی از تیمارها قبل از پوشش‌دهی پرایمینگ شدند (جدول ۱). جهت پرایمینگ، بذرهای کلزا به‌مدت ۱۰ ساعت در آب مقطر (هیدروپرایمینگ) یا هیومیک اسید (۲ در هزار) پرایمینگ شدند و بعد از طی این مدت زمان بذرها در شرایط آزمایشگاه خشک و سپس تیمارهای پوشش روی آنها صورت گرفت. از بذور پرایمینگ‌شده و شاهد، ۱۰ تیمار شامل ۱ تیمار شاهد (بذور پرایمینگ‌نشده)، ۳ تیمار پوشش و ٦ تیمار پلیت تهیه شد.

تیمارهای تنش شوری شامل چهار سطح صفر، هفت، ١٤ و ۲۱ دسی زیمنس بر متر نمک NaCl و تیمارهای تنش خشکی شامل چهار سطح صفر، ۰/۸-، ۱- و ۱/۲- مگاپاسگال بودند. در آزمایش تنش شوری در هر تکرار از هر تیمار پوشش، ۵۰ بذر در داخل پتری‌دیش روی کاغذ قرار داده شد و پس از مرطوب کردن با آب مقطر و محلول‌های تهیه‌شده از نمک در داخل ژرميناتور در دمای

1. Carboxymethyl Celluloses

۲۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شد. در آزمایش تنش خشکی در هر تکرار از هر تیمار پوشش، ۵۰ بذر در داخل پتری‌دیش روی کاغذ قرار داده شد و پس از مرطوب کردن با آب مقطر و محلول‌های تهیه‌شده از PEG 6000[1] در داخل ژرميناتور در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد گذاشته شد. بازدید از بذور دو بار در روز صورت گرفت و معیار بذور جوانه‌زده خروج ریشه‌چه بود. شمارش بذرها به‌مدت ١٤ روز انجام شد. در طول آزمایش در صورت نیاز به کاغذ آب مقطر و محلول‌های تهیه‌شده اضافه شد. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور از برنامه Germin^{v2} استفاده شد (Soltani *et al.*, 2013) که این برنامه D10 (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد برسد)، D50 (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد برسد) و D90 (مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۰ درصد برسد) را محاسبه می‌کند. سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از طریق معادله (۱) محاسبه شد (Soltani *et al.*, 2013):

$$R50=1/D50 \quad \text{(سرعت جوانه‌زنی)} \qquad (۱)$$

جهت مدل‌سازی واکنش جوانه‌زنی تیمارها به تنش خشکی از مدل هیدروتایم استفاده شد. رابطه اصلی مدل هیدروتایم به‌صورت زیر می‌باشد (Dahal & Bradford, 1990; Bradford, 1990;Bradford & Still, 2004):

$$\theta_H = (\psi - \psi_b(g))\, t_g \qquad (۲)$$

در رابطه (۲) θ_H ثابت هیدروتایم (مگاپاسکال ساعت)، Ψ پتانسیل آب بستر بذر (مگاپاسکال)، Ψ_b پتانسیل آب پایه (مگاپاسکال)، g درصدهای مختلف جوانه‌زنی و t_g زمان خروج ریشه برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی (برحسب ساعت) را نشان می‌دهد. با فرض اینکه تغییرات Ψ_b در یک توده بذری از توزیع نرمال پیروی می‌کند، پارامترهای مدل هیدروتایم با آنالیز پروبیت (probit) تکرارشده طبق رابطه زیر تخمین زده شد تا بهترین برازش برای هر تیمار حاصل شود (Dahal & Bradford, 1990; Bradford & Still, 2004):

$$probit(g) = [\psi - (\theta_H / t_g) - \psi_b(50)] / \sigma_{\psi b} \qquad (۳)$$

در رابطه (۳)، $\Psi_{b(50)}$ پتانسیل آب پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی (مگاپاسکال) و $\sigma_{\psi b}$ انحراف معیار توزیع مقادیر پتانسیل پایه برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی ($\Psi_{b(g)}$) در جمعیت بذور می‌باشد که این ضریب بیانگر یکنواختی جوانه‌زنی می‌باشد. مدل هیدروتایم سه پارامتر دارد که از نظر بیولوژیکی دارای مفهوم هستند. ثابت هیدروتایم که در واقع معیاری از زمان تا جوانه‌زنی بذر است و مشابه مفهوم زمان حرارتی یا ترمال‌تایم عمل می‌کند. پارامتر دوم پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی است که در واقع حد آستانه تنش خشکی برای جوانه‌زنی را نشان می‌دهد. پتانسیل پایه برای صدک‌های مختلف جوانه‌زنی متفاوت است و دارای یک توزیع نرمال می‌باشد که در روی این توزیع مقدار میانه همان پتانسیل پایه برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی می‌باشد و مقدار واریانس در این توزیع نرمال نشان‌دهنده یکنواختی جوانه‌زنی ($\sigma_{\psi b}$) می‌باشد (Dahal & Bradford, 1990; Bradford & Still, 2004).

با توجه به روند تغییرات داده‌های سرعت جوانه‌زنی با افزایش تنش شوری مدل زیر برای ارزیابی واکنش سرعت جوانه‌زنی بذور به تنش شوری استفاده شد:

$$R50=ax+b \qquad (٤)$$

در معادله (٤)، ضرایب a و b به‌ترتیب عرض از مبدأ و شیب خط هستند و x مقدار شوری (بر حسب دسی‌زیمنس بر متر) را نشان می‌دهد. ضریب a مقدار اولیه‌ی سرعت جوانه‌زنی را در سطح شوری صفر نشان می‌دهد. ضریب b مقدار کاهش سرعت جوانه‌زنی به‌ازای افزایش هر واحد شوری را نشان می‌دهد.

1. Polyethylene glycol

با توجه به فرضیه‌ای که در خصوص واکنش درصد جوانه‌زنی به شوری ارائه شده است (Hanslin & Eggen, 2005) تأثیر سطوح مختلف شوری روی درصد جوانه‌زنی (GP) به‌صورت زیر کمی‌سازی شد (Sadat-Noori *et al.*, 2015):

$$GP = GP_{max} \quad \text{if } S<St; \qquad GP = GP_{max} - b_{GP}\,(S-St) \quad \text{if } S\geq St \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، GP درصد جوانه‌زنی، GP_{max} حداکثر جوانه‌زنی (درصد)، b_{GP} کاهش درصد جوانه‌زنی با افزایش شوری، St آستانه تحمل به شوری و S، شوری را نشان می‌دهد [۳۹]. به‌طورکلی حداکثر جوانه‌زنی (GP_{max}) در کمترین سطوح شوری رخ می‌دهد و با افزایش تنش شوری تا حد آستانه تحمل (St) درصد جوانه‌زنی به‌صورت حداکثر باقی خواهد ماند. بعد از عبور از حد آستانه تحمل به شوری درصد جوانه‌زنی با شیب معینی (b_{GP}) کاهش خواهد یافت و در نهایت به صفر خواهد رسید.

تخمین مقادیر پارامترهای مدل‌ها و اشتباه استاندارد (SE) آن‌ها در میان تیمارها با نرم‌افزار SAS (نسخه ۹,۰) انجام شد. جهت رسم شکل‌ها از نرم‌افزار EXCEL استفاده شد.

۳. نتایج و بحث

۱.۳. مدل هیدروتایم

در شکل (۱) مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده درصد جوانه‌زنی در سطوح مختلف خشکی و هیدروتایم برای هر تیمار نشان داده شده است. با توجه به شکل (۱) با افزایش خشکی، درصد جوانه‌زنی در تمامی تیمارها کاهش یافت. بیشترین درصد جوانه‌زنی در شرایط خشکی مربوط به T4 (خشکی صفر، ۹۵/۵ درصد، خشکی ۰/۸- مگاپایکال، ۸۸ درصد، خشکی ۱- مگاپاسکال، ۸۱ درصد و خشکی ۱/۲- مگاپاسکال، ۳۹/۵ درصد) بود و کمترین درصد جوانه‌زنی در T7 (خشکی صفر، ٦٣/٥ درصد، خشکی ۰/۸- مگاپایکال، ٦٤/٥ درصد، خشکی ۱- مگاپاسکال، ٢٤ درصد و خشکی ۱/۲- مگاپاسکال، ٤ درصد) مشاهده شد (شکل ۱).

جدول ۱. کد تیمارهای پوشش، نوع پوشش، چسب، ماده پرکننده، قارچکش و پرایمینگ که جهت پوشش‌دهی بذرها به‌کار رفت

کد تیمار	نوع پوشش	چسب⸸	پرکننده‡	قارچکش	پرایمینگ
T1 (شاهد)	-	-	-	-	-
T2	کوت*	CMC	-	کاربندازیم	هیدروپرایمینگ
T3	کوت	CMC	-	کاربندازیم	هیومیک اسید
T4	کوت	CMC	-	کاربندازیم	-
T5	پلیت†	CMC	CMC پودری	کاربندازیم	هیدروپرایمینگ
T6	پلیت	CMC	CMC پودری	کاربندازیم	هیومیک اسید
T7	پلیت	CMC	CMC پودری	کاربندازیم	-
T8	پلیت	CMC	CMC پودری	-	هیدروپرایمینگ
T9	پلیت	CMC	CMC پودری	-	هیومیک اسید
T10	پلیت	CMC	CMC پودری	-	-

* پوشش لایه نازک اطراف بذر که باعث تغییر اندازه و شکل بذر نشود، کوت (coat) گفته می‌شود.

† به پوششی که باعث افزایش اندازه بذر و تغییر شکل بذر شود پلیت (pellet) گفته می‌شود.

⸸ چسب به‌صورت محلول ساخته شد و باعث چسباندن بذر به مواد پودری (قارچکش و پرکننده) می‌شود.

‡ ماده پرکننده ماده‌ای پودری شکل و خنثی است که به‌صورت لایه لایه در اطراف بذر قرار می‌گیرد.

با توجه به جدول (۲) دامنه تغییرات θ_H ضریب هیدروتایم برای تیمارهای مختلف بین ۲۲ تا ۴۳ مگاپاسکال ساعت بود. بیشترین ضریب هیدروتایم در T4 (۴۲/۷۴۲ مگاپاسکال ساعت) و کمترین مقادیر هیدروتایم در T9 (۲۲/۶۲۷ مگاپاسکال ساعت)، T3 (۲۲/۵۳۸ مگاپاسکال ساعت) و T6 (۲۲/۲۶۳ مگاپاسکال ساعت) مشاهده شد. از لحاظ ضریب هیدروتایم اختلاف تیمارهای بذر T3، T6 و T9 با یکدیگر معنی‌دار نبودند (در سطح پنج درصد)، ولی اختلاف معنی‌داری با بقیه تیمارها داشتند (جدول ۲). در نتیجه، تیمارهایی که با هیومیک اسید پرایمینگ شدند ضریب هیدروتایم پایین‌تری نسبت به تیمارهای دیگر داشتند. پایین‌تر بودن ضریب هیدروتایم حاکی از سرعت بیشتر و مدت زمان کوتاه‌تر برای جوانه‌زنی است. دامنه تغییرات $\Psi_{b\,(50)}$ برای تیمارهای پوشش بین ۰/۷۸۰- تا ۱/۳۳۲- مگاپاسکال بود که بیشترین مقدار آن مربوط به T9 (۰/۷۸۲- مگاپاسکال) و کمترین مقدار ان مربوط به T4 (۱/۳۳۲- مگاپاسکال) و T1 (۱/۳۲۴- مگاپاسکال) بود. در نتیجه تیمارهای پوشش و پلیت پتانسیل پایه را افزایش دادند و این افزایش برای بذرهایی که پلیت شده بودند با سایر تیمارها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۲) که احتمالاً به‌علت واکنش بین CMC به‌کار رفته در پوشش و پلیت بذور و PEG بوده است. از نظر یکنواختی جوانه‌زنی ($\sigma_{\psi b}$) بیشترین مقدار مربوط به T4 (۰/۵۲۳) و کمترین در T1 (۰/۲۵۹) T2 (۰/۲۹۱) و T3 (۰/۲۷۸) مشاهده شد. هرچه $\sigma_{\psi b}$ کوچک‌تر باشد، یکنواختی جوانه‌زنی بیشتر است. در نتیجه، تیمار پلیت بذر موجب کاهش یکنواختی جوانه‌زنی شد، ولی تیمارهای پوشش (کوت) بذر یکنواختی جوانه‌زنی مناسبی داشتند، هرچند اختلاف آنها با تیمارهای پلیت بذر در سطح پنج درصد معنی‌دار نبود (جدول ۲). دامنه تغییرات ضریب تبیین (R^2) بین ۰/۸۸-۰/۷۳ بود. بیشترین مقدار مربوط به T9 (۰/۸۸) و کمترین مربوط به T5 (۰/۷۳) بود که حاکی از دقت مناسب مدل در پیش‌بینی جوانه‌زنی بذرهای پوشش داده شده، داشت.

جدول ۲. تخمین پارامترهای مدل هیدروتایم که جوانه‌زنی تیمارهای مختلف پوشش بذر را در دامنه‌ای از پتانسیل‌های آب شرح می‌دهد. θ_H ضریب هیدروتایم، $\Psi_{b\,(50)}$ پتانسیل آب پایه، $\sigma_{\psi b}$ یکنواختی جوانه‌زنی و R^2 ضریب تبیین. در شکل ۱ داده‌های مشاهده شده و مدل مربوطه برای هر تیمار ارائه شده است.

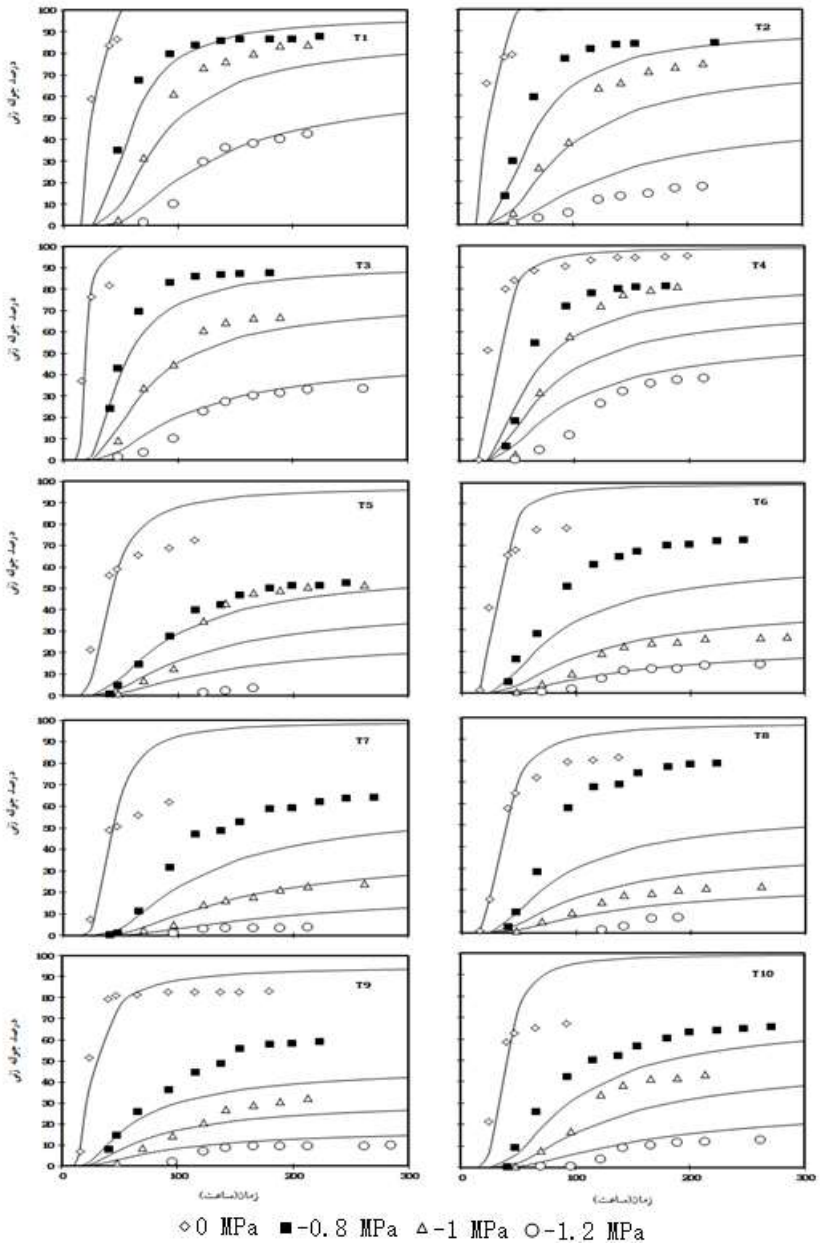
تیمار	$\theta_H \pm SE$ مگاپاسکال	$\Psi_b\,(50) \pm SE$ مگاپاسکال	$SE \pm \sigma_{\psi b}$	R^2	RMSE	n
T1	۳۲/۶۵ ± ۱/۶۵	-۱/۳۲ ± ۰/۰۵۲	۰/۲۶ ± ۰/۰۸۱	۰/۸۴	۷/۳۴	۱۱۲
T2	۳۱/۳۴ ± ۱/۷۸	-۱/۲۲ ± ۰/۰۴۵	۰/۲۹ ± ۰/۰۷۳	۰/۷۹	۸/۱۱	۱۰۸
T3	۲۳/۵۴ ± ۱/۹۶	-۱/۲۱ ± ۰/۰۴۲	۰/۲۸ ± ۰/۰۷۹	۰/۸۲	۷/۵	۱۰۸
T4	۴۲/۷۴ ± ۲/۰۱	-۱/۳۳ ± ۰/۰۵۸	۰/۵۲ ± ۰/۰۸۲	۰/۸۳	۷/۷۳	۱۳۶
T5	۳۹/۱۹ ± ۱/۸۵	-۰/۹۳ ± ۰/۰۵۳	۰/۴۶ ± ۰/۰۸۴	۰/۷۳	۹/۰۸	۱۱۶
T6	۲۹/۲۶ ± ۱/۸۹	-۰/۹۴ ± /۰۴۷	۰/۳۷ ± ۰/۰۸۱	۰/۸۰	۷/۹۸	۱۴۰
T7	۳۹/۵۰ ± ۱/۹۲	-۰/۹۲ ± ۰/۰۴۹	۰/۳۶ ± ۰/۰۷۷	۰/۸۱	۷/۷۷	۱۲۴
T8	۳۲/۴۸ ± ۱/۷۸	-۰/۹۰ ± ۰/۰۵۷	۰/۴۳ ± ۰/۰۷۸	۰/۷۴	۸/۸۹	۱۲۴
T9	۲۲/۶۳ ± ۲/۱۱	-۰/۷۸ ± ۰/۰۶۱	۰/۴۷ ± ۰/۰۸۲	۰/۸۸	۶/۹۰	۱۴۴
T10	۳۸/۹۲ ± ۲/۲۰	-۱/۰۲ ± ۰/۰۴۶	۰/۳۸ ± ۰/۰۷۹	۰/۷۹	۸/۳۲	۱۳۲

از مدل هیدروتایم به‌طور گسترده در مطالعات علوم بذر استفاده شده است که این مطالعات را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد: مدلسازی جوانه‌زنی و پیش‌بینی آن، مطالعات کمون بذر و پیش‌بینی تغییرات آن و مطالعات مربوط به کیفیت بذر (Bradford, 2002; Bradford & Still, 2004). اگرچه تجزیه هیدروتایم یک روش ریاضی است، ولی پارامترهای آن دارای مفهوم فیزیولوژیک و بیولوژیک می‌باشند (Bradford, 2002; Alvarado & Bradford, 2002). گزارش‌های مختلفی در زمینه کاربرد مدل هیدروتایم در مطالعات قدرت و کیفیت بذر وجود دارد (Soltani & Farzaneh, 2014; Cardoso & Bianconi, 2013; Farzane & Soltani, 2011; Windauer *et al*., 2007). این مدل شاخص‌های مناسبی جهت ارزیابی قدرت بذر داراست (Dahal & Bradford, 1990). ضریب θ_H شاخصی از سرعت جوانه‌زنی است. هرچه مقدار این ضریب کوچک‌تر باشد سرعت جوانه‌زنی بیشتر خواهد بود (Cardoso & Bianconi, 2013). یعنی هر چقدر مقدار ضریب هیدروتایم کمتر باشد توده بذری قدرت بالاتری خواهد داشت. ضریب θ_H می‌تواند، به‌عنوان شاخصی برای تعیین قدرت بذور توده‌های مختلف باشد (Dahal & Bradford, 1990). ضریب $\Psi_{b(50)}$ به‌عنوان شاخصی برای نشان دادن میزان تحمل محموله بذری به تنش خشکی است. هرچه مقدار این شاخص منفی‌تر باشد میزان تحمل به تنش خشکی بیشتر خواهد بود (Bradford & Still, 2004). ضریب انحراف معیار در مدل هیدروتایم به‌عنوان شاخصی از یکنواختی جوانه‌زنی محموله بذری است. هرچه مقدار این ضریب کوچک‌تر باشد یکنواختی جوانه‌زنی در محموله بذری بیشتر خواهد بود (Bradford & Still, 2004). گزارش شده است که پرایمینگ قادر است قدرت بذر را افزایش دهد و پرایمینگ بذرهای گوجه‌فرنگی موجب کاهش ضریب θ_H نسبت به تیمار شاهد شد، ولی مقدار ضریب $\Psi_{b(50)}$ نسبت به تیمار شاهد بزرگ‌تر (منفی‌تر) بود (Dahal & Bradford, 1990). نتایج پژوهشی روی بذر چغندرقند نشان داده است که بین پارامترهای مدل هیدروتایم، ضریب $\Psi_{b(50)}$ بیشترین همبستگی را با پارامترهای رشد گیاهچه داشته است (Farzane & Soltani, 2011). نتایج مشابهی روی پنبه نیز مشاهده شده است و مشاهده شده است که هر چقدر $\Psi_{b(50)}$ منفی‌تر باشد جوانه‌زنی، سبز شدن و رشد گیاهچه در شرایط مطلوب و تنش خشکی بهتر بوده است (Soltani & Farzaneh, 2014). پیش از این مدلسازی جوانه‌زنی کلزا نیز با کمک مدل هیدروتایم صورت گرفته است و ضرایب آن برای کلزا تعیین شده است (Soltani *et al*., 2013). در پژوهش حاضر با کمک مدل به مقایسه تیمارهای پوشش پرداخته شد که نتایج این بخش از پژوهش حاضر نشان داد تیمارهایی که در آنها از پرایمینگ با هیومیک اسید استفاده شده بود، کمترین ضریب هیدروتایم را دارا بودند. از طرفی تیمارهایی که پلیت شده بودند مقادیر بزرگ‌تری از $\Psi_{b(50)}$ دارا بودند که مشابه نتایج ارائه‌شده روی پرایمینگ بذر گوجه‌فرنگی (Dahal & Bradford, 1990) و *Lesquerella fendleri* (Windauer *et al*., 2007) می‌باشد.

۲.۳. واکنش جوانه‌زنی به شوری

با توجه به جدول (۳) بیشترین Y_{max} (حداکثر درصد جوانه‌زنی) در T1، T2، T3 و T4 (به‌ترتیب ۸۶/۵۰، ۸۶/۷۵، ۸۳/۳۳ و ۸۶/۱۲ درصد) و کمترین مقدار آن در T10 (۷۳ درصد) مشاهده شد که اختلاف بین آنها در سطح پنج درصد معنی‌دار بود. در بین تیمارهای پلت T8 با ۸۱/۷۵ درصد، بالاترین Y_{max} را داشت (جدول ۳؛ شکل ۲). نتیجه مقایسه پارامترهای تیمارها نشان داد اختلاف

تیمارهای کوت در سطح پنج درصد (به‌استثنای T4) با تیمارهای پلیت از نظر Y_{max} معنی‌دار بود (جدول ۳). این موضوع به‌روشنی نشان می‌دهد که تیمارهای پلیت بذر موجب کاهش معنی‌دار حداکثر درصد جوانه‌زنی شدند و بیشترین درصد جوانه‌زنی مربوط به تیمارهای کوت و شاهد بوده است (جدول ۳؛ شکل ۲). از طرفی حاکی از بهبود درصد جوانه‌زنی از طریق پرایمینگ در تیمارهای کوت بذر می‌باشد.



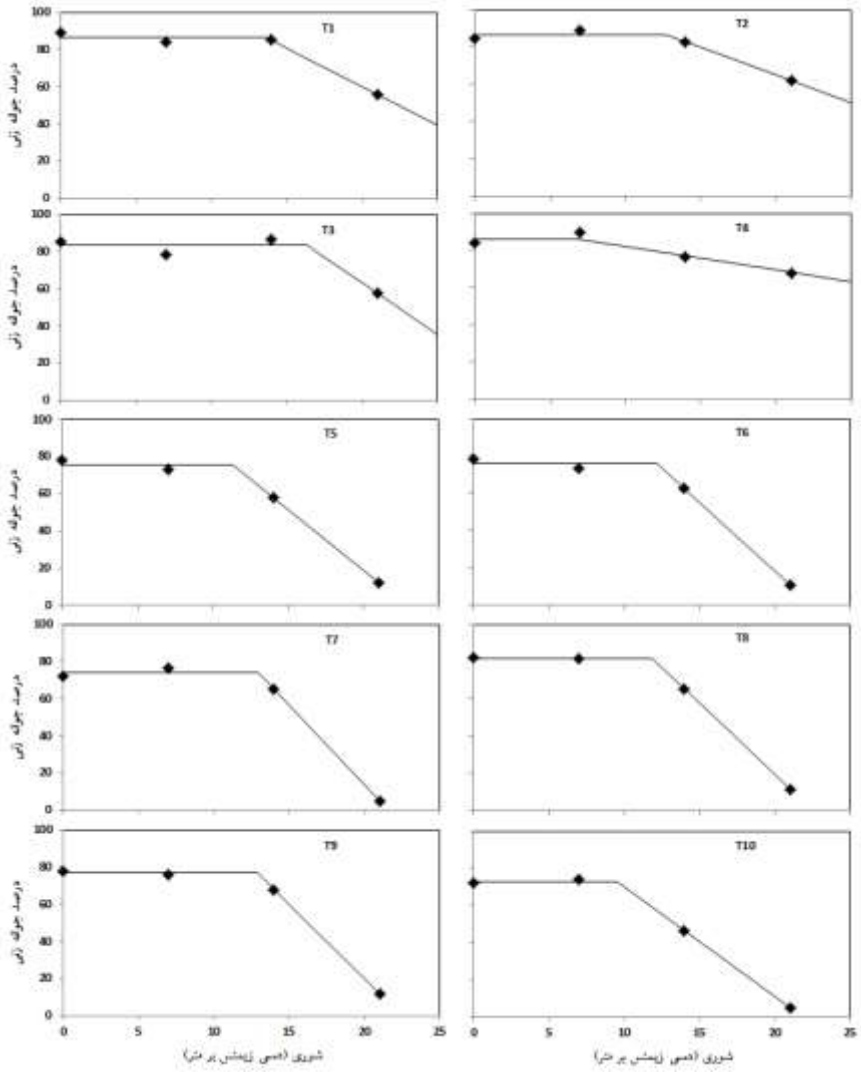
شکل ۱. روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در طول زمان توسط مدل هیدروتایم برای سطوح مختلف خشکی در هر یک از تیمارهای پوشش بذر. نقاط داده‌های مشاهده‌شده و خطوط مدل هیدروتایم را نشان می‌دهد. پارامترهای مدل و مقادیر R^2 و RMSE برای هر تیمار در جدول ۲ ارائه شده است.

همچنین، در تیمارهای پلیت شیب کاهش درصد جوانه‌زنی (b) (درصد بر دسی‌زیمنس بر متر) بیشتر از سایر تیمارها بود و بیشترین مقدار مربوط به T7 (۸/۵۷ درصد بر دسی‌زیمنس بر متر) و کمترین در T4 (۱/۲۹ درصد بر دسی‌زیمنس بر متر) مشاهده شد (جدول ۳؛ شکل ۲). از نظر این ضریب اختلاف T4 با سایر تیمارهای پوشش معنی‌دار بود (در سطح پنج درصد). هر چه ضریب b کوچک‌تر باشد با افزایش شوری، درصد جوانه‌زنی با آهنگ کندتری کاهش می‌یابد. بیشترین X_0 (آستانه تحمل به شوری) مربوط به T3 (۱۶/۳۸ دسی‌زیمنس برمتر) و کمترین آن مربوط به T4 (۷ دسی‌زیمنس بر متر) بود (جدول ۳؛ شکل ۲). از نظر آستانه تحمل به شوری T3 اختلاف معنی‌داری با سایر تیمارها داشت (در سطح پنج درصد). در مورد تحمل به شوری مهمترین پارامتر آستانه تحمل به شوری است (Hanslin & Eggen, 2005) و هرچه X_0 بیشتر باشد تحمل به شوری بالاتر است (Sadat-Noori *et al.*, 2015). در نتیجه T3 قادر بوده است که حداکثر درصد جوانه‌زنی خود را در میزان شوری بالاتر، حفظ کند و در نتیجه تحمل به شوری بالاتری نسبت به تیمارهای دیگر از خود نشان دهد. مقادیر ضریب تبیین نشان داد که مدل شوری مورد استفاده از برازش مناسبی به درصد جوانه‌زنی برخوردار بود. دامنه تغییرات میانگین مربعات خطا (RMSE) بین ۴/۱۱–۰/۲۵ بود که بیشترین مقدار مربوط به T3 (۴/۱۱) و کمترین مربوط به T8 (۰/۲۵) بود (جدول ۳).

جدول ۳. تخمین پارامترهای مدل شوری که جوانه‌زنی تیمارهای مختلف پوشش بذر را در دامنه‌ای از تنش شوری شرح می‌دهد. Y_{max} حداکثر درصد جوانه‌زنی، ضریب b شیب کاهش درصد جوانه‌زنی، X_0 آستانه تحمل به شوری، R_2 ضریب تبیین و RMSE میانگین مربعات خطا. شکل ۲ مدل‌های مربوط به این پارامترها را نشان می‌دهد. اعداد داخل پرانتز مربوط به خطای استاندارد (SE) هستند. مقدار n برای هر تیمار معادل ۱۶ بود. در شکل ۲ داده‌ها و مدل مربوطه برای هر تیمار ارائه شده است.

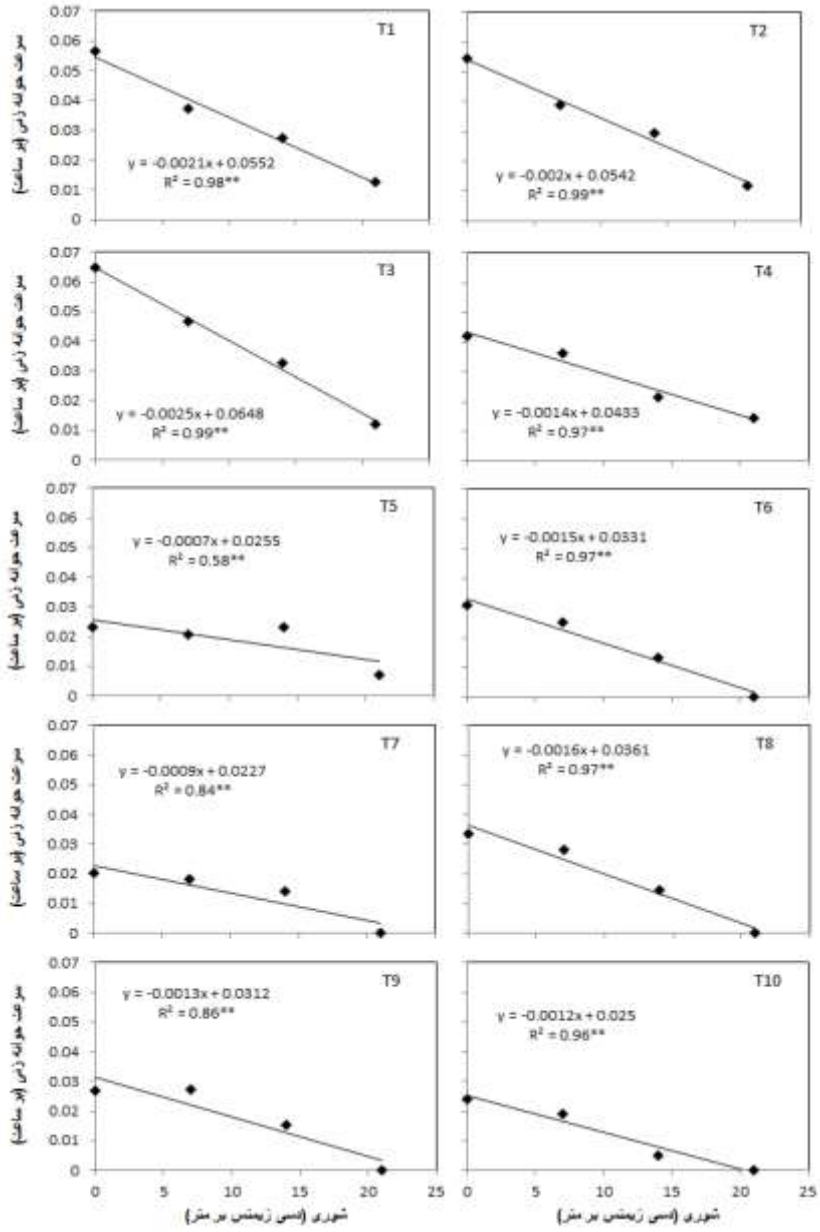
تیمار	SE±Ymax (٪)	SE±b (درصد بر دسی‌زیمنس بر متر)	SE±X_0 (دسی‌زیمنس بر متر)	R^2	RMSE
T1	۸۶/۵۰ ± ۲/۵۰	۴/۱۴ ± ۰/۷۱	۱۳/۶۴ ± ۱/۰۸	۰/۹۸	۲/۴۸
T2	۸۶/۷۵ ± ۲/۲۵	۳/۰۰ ± ۰/۶۴	۱۲/۷۵ ± ۱/۴۷	۰/۹۸	۲/۲۲
T3	۸۳/۲۳ ± ۲/۴۵	۵/۵۹ ± ۱/۰۶	۱۶/۳۸ ± ۰/۰۰*	۰/۹۳	۴/۱۱
T4	۸۶/۱۲ ± ۴/۰۳	۱/۲۹ ± ۰/۴۰	۷/۰۰ ± ۴/۲۴	۰/۹۴	۲/۶۰
T5	۷۵/۵۰ ± ۲/۵۰	۶/۶۷ ± ۰/۷۱	۱۱/۳۴ ± ۰/۸۵	۰/۹۹	۲/۴۹
T6	۷۶/۰۰ ± ۲/۵۰	۷/۴۳ ± ۰/۷۱	۱۲/۱۸ ± ۰/۶۹	۰/۹۹	۲/۴۹
T7	۷۴/۲۵ ± ۲/۲۵	۸/۵۷ ± ۰/۶۴	۱۲/۹۲ ± ۰/۵۰	۰/۹۹	۲/۲۵
T8	۸۱/۷۵ ± ۰/۲۵	۷/۷۱ ± ۰/۰۷	۱۱/۸۹ ± ۰/۰۶	۰/۹۹	۰/۲۵
T9	۷۳/۰۰ ± ۱/۰۰	۸/۰۰ ± ۰/۲۸	۱۲/۸۸ ± ۰/۲۴	۰/۹۹	۱/۰۰
T10	۷۳/۰۰ ± ۱/۰۰	۵/۹۳ ± ۰/۲۸	۹/۵۳ ± ۰/۴۵	۰/۹۹	۱/۰۰

* مقدار SE برای پارامتر X_0 در تیمار بذر T3 معادل ۰/۰۰۱۳ می‌باشد که به دلیل گرد کردن اعداد تا دو رقم، مقدار آن در جدول صفر گذاشته شد.



شکل ۲. روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی در طول زمان توسط مدل شوری برای هر یک از تیمارهای پوشش بذر. پارامترهای مربوط به این شکل در جدول ۳ آورده شده است.

با توجه به شکل (۳) بیشترین سرعت جوانه‌زنی در تمام سطوح شوری مربوط به T3 (شوری صفر ۰/۰٦٤ برساعت، شوری هفت، ۰/۰٤٦ بر ساعت، شوری ١٤، ۰/۰۳۲ بر متر و شوری ۲۱، ۰/۰۱۲ برساعت) کمترین مربوط به T7 (شوری صفر ۰/۰۲۰ برساعت، شوری هفت، ۰/۰۱۸ بر ساعت، شوری ١٤، ۰/۰١٤ بر متر و شوری ۲۱، صفر) بود. در نتیجه، با افزایش شوری سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت که این کاهش برای تیمارهای مختلف پوشش متفاوت بود. در کل تیمار پلیت بذر موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی شد، ولی تیمارهای کوت بذر به‌ویژه تیمار T3 موجب بهبود سرعت جوانه‌زنی گردید. هرچه مقدار b (بر ساعت دسی‌زیمنس بر متر) کمتر باشد، شیب خط کمتر و کاهش سرعت با افزایش شوری با آهنگ کندتری صورت می‌گیرد. با توجه به شکل T3 (۰/۰۰۲۵- بر ساعت دسی‌زیمنس بر متر) بالاترین مقدار b و کمترین مقدار آن مربوط به T5 (۰/۰۰۰۷ بر ساعت دسی‌زیمنس بر متر) بود.



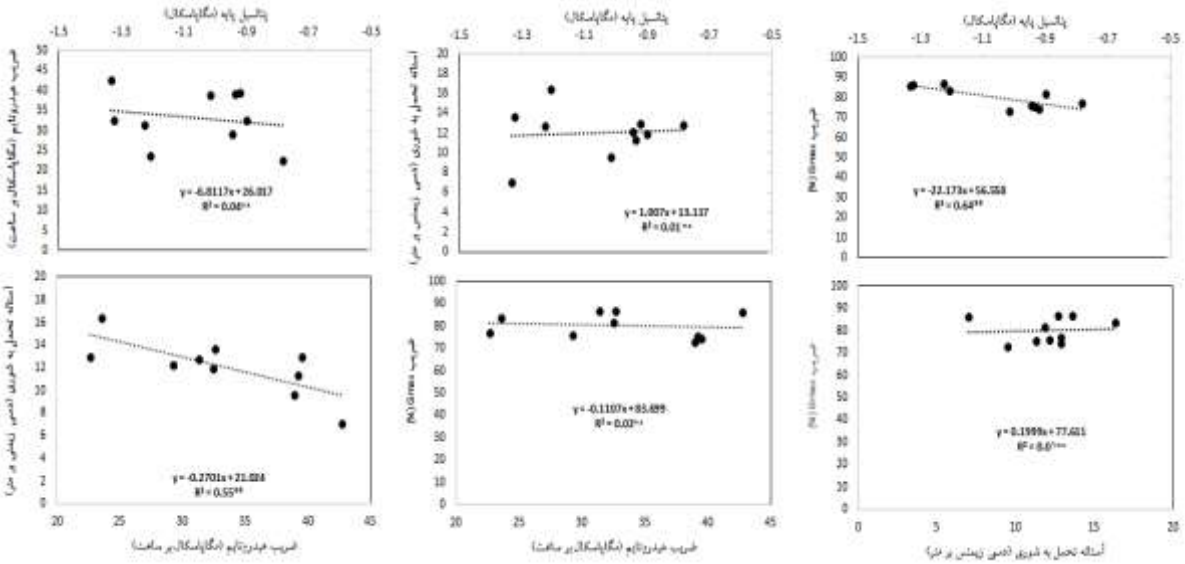
شکل ۳. روند تغییرات سرعت جوانه‌زنی در شوری‌های مختلف توسط مدل شوری برای هر یک از تیمارهای پوشش بذر.

در مورد اثرات منفی شوری بر جوانه‌زنی گزارش‌های زیادی وجود دارد (Almansouri *et al*., 2001; Misra & Dwivedi, 2004; Amirjani, 2010; Sevengor *et al*., 2011; Zhani *et al*., 2012). از طرفی در روش‌های اندازه‌گیری تحمل به تنش شوری نیز شاخص‌های متفاوتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما، محققان معمولاً در مرحله جوانه‌زنی به گزارش درصد و سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای مختلف شوری بسنده می‌کنند (Sadat-Noori *et al*., 2015). تحمل گونه‌های گیاهی مختلف به شوری متفاوت است و گیاهان می‌توانند سه واکنش متفاوت نشان دهند: (۱) درصد جوانه‌زنی گونه‌های حساس به شوری معمولاً با افزایش شوری به‌صورت نمایی کاهش می‌یابد، (۲)

درصد جوانه‌زنی گونه‌هایی با تحمل متوسط به‌صورت خطی کاهش می‌یابد و (۳) گونه‌های متحمل به شوری تا یک حد آستانه شوری را تحمل می‌کنند و بعد از آن به‌صورت خطی کاهش خواهند یافت (Hanslin & Eggen, 2005). مدل رگرسیونی که در این پژوهش برای توصیف واکنش جوانه‌زنی تیمارهای مختلف بذری ارائه شد به‌خوبی توانست اختلاف‌های بین توده‌ها را نشان دهد. پیش از این تنها یک پژوهش در این زمینه روی گیاه زنیان صورت گرفته است که برای اولین بار این روش در آن معرفی شده است (Sadat-Noori *et al.*, 2015). این محققان با استفاده از این روش توده‌های زنیان متحمل به تنش شوری را شناسایی نمودند. در پژوهش حاضر نیز این مدل به‌خوبی توانست اختلافات بین تیمارهای پوشش بذر را نشان دهد. تیمارهای پوشش نسبت به تیمارهای پلیت بذر سرعت جوانه‌زنی بالاتری داشتند که دلیل اصلی آن لایه‌های بیشتری که است که اطراف بذر پلیت‌شده را پوشانده است و بذر برای خروج از این لایه‌ها زمان بیشتری نیاز دارد. البته تیمار پرایمینگ با اسید هیومیک توانست سرعت جوانه‌زنی را افزایش و ضریب هیدروتایم را کاهش دهد. تیمار پرایمینگ با مواد آلی از دو طریق می‌تواند باعث افزیش سرعت جوانه‌زنی شود: در پرایمینگ بذر دو مرحله اول جذب آب طی می‌شود و در نتیجه سرعت جوانه‌زنی افزایش می‌یابد و دیگری اثر مثبت اسید هیومیک بر رشد و جوانه‌زنی اولیه که موجب بهبود جوانه‌زنی می‌شود (Soltani & Soltani, 2015). مواد هیومیکی نتیجه تجزیه مواد آلی هستند و استفاده از اسید هیومیک باعث رشد اندام هوایی می‌شود که دلیل آن افزایش جذب عناصری نظیر ازت، کلسیم، فسفر، پتاسیم، منگنز، آهن، روی و مس است (Harris *et al.*, 2001; Basra *et al.*, 2004; Basra *et al.*, 2005). اسید هیومیک باعث افزایش رشد، افزایش جذب عناصر، افزایش تولید ریشه، افزایش مقاومت به تنش‌های خشکی و شوری، افزایش تنفس، افزایش آنتی‌اکسیدانت‌ها می‌شود (Harris *et al.*, 2001; Basra *et al.*, 2004; Basra *et al.*, 2005; Soltani & Soltani, 2015).

۳.۳. ارتباط بین پارامترهای مدل‌ها

با توجه به شکل (٤) بین پتانسیل پایه با ضریب هیدروتایم و آستانه تحمل به شوری ارتباط معنی‌داری وجود ندارد. اما، رابطه پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی و حداکثر جوانه‌زنی در شرایط شوری ارتباط معنی‌داری مشاهده گردید (در سطح یک درصد). به‌طوری‌که با افزایش هر یک مگاپاسکال به پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی، ضریب Gmax به اندازه ۲۲/۱ درصد کاهش یافت. همچنین، بین ضریب هیدروتایم با آستانه تحمل به شوری رابطه معنی‌داری وجود داشت (در سطح یک درصد)، به‌طوری‌که به‌ازای کاهش هر واحد ضریب هیدروتایم، آستانه تحمل به شوری ۰/۷۲ دسی‌زیمنس بر متر افزایش یافت. با توجه به این روابط فقط در همین دو مورد رابطه بین پارامترها معنی‌دار بود. که در آن پتانسیل پایه با حداکثر جوانه‌زنی و ضریب هیدروتایم با آستانه تحمل به شوری ارتباط داشت. درصورتی‌که این رابطه در گیاهان دیگر نیز به اثبات برسد، می‌توان به اصلاح‌گران توصیه نمود ارقامی را اصلاح نمایند که پتانسیل پایه منفی‌تر و ضریب هیدروتایم کمتری داشته باشند که در نتیجه آن ظرفیت جوانه‌زنی و آستانه تحمل به شوری نیز به‌طور همزمان افزایش خواهد یافت. از طرفی کاهش ضریب هیدروتایم و منفی‌تر شدن پتانسیل پایه موجب بهبود قدرت بذر و رشد گیاهان زراعی خواهد شد (Dahal & Bradford, 1990; Bradford & Still, 2004). به این ترتیب می‌توان با اصلاح یک پارامتر همزمان تحمل به خشکی، شوری و قدرت اولیه گیاهان را بهبود بخشید که البته مطالعات بیشتری در این زمینه نیاز است.



شکل ٤. رگرسیون بین پارامترهای مدل هیدروتایم و مدل شوری.

٤. نتیجه‌گیری

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که تنش شوری و خشکی موجب کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی خواهد شد. تیمارهای مختلف پوشش (کوت و پلیت) بذر واکنش‌های متفاوتی به تنش شوری و خشکی نشان دادند. مدل هیدروتایم و مدل رگرسیون شوری توانایی بالایی در تفکیک تیمارهای مختلف پوشش بذر از نظر مؤلفه‌های جوانه‌زنی داشتند و می‌توان از این مدل‌ها برای تعیین تیمار مناسب پوشش استفاده نمود. طبق این مدل‌ها تیمارهای پوششی که در آنها بذرها با هیومیک اسید پرایمینگ شده بودند به‌علت کم بودن میزان ضریب هیدروتایم و منفی‌تر بودن پتانسیل پایه، جهت کشت در شرایط خشکی قابل توصیه هستند (یعنی T3، T6 و T9). در شرایط تنش شوری نیز تیمار پوشش T3 به‌علت بالاتر بودن مقدار آستانه تحمل به شوری نسبت به تیمارهای دیگر برتری داشت. همچنین، بررسی ارتباط بین پارامترهای مختلف مدل شوری و هیدروتایم نشان داد که با کاهش ضریب هیدروتایم مقدار آستانه تحمل به شوری افزایش خواهد یافت و با منفی‌تر شدن پتانسیل پایه حداکثر درصد جوانه‌زنی در شرایط شوری افزایش خواهد یافت. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که پرایمینگ با هیومیک اسید قبل از پوشش‌دهی بذر موجب بهبود سرعت جوانه‌زنی و افزایش آستانه تحمل به شوری و خشکی خواهد شد. در نتیجه می‌توان به تولیدکنندگان بذر توصیه نمود قبل از پوشش‌دار کردن بذر از پرایمینگ با هیومیک اسید استفاده کنند.

منابع

1. Almansouri, M., Kinet, J. M. & Lutts, S. (2001). Effect of salt and osmotic stresses on germination in durum wheat. *Plant and Soil*, *231*, 243-254.
2. Alvarado, V. & Bradford, K. J. (2002). Hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell and Environment* , *25*, 1061-1069.
3. Amirjani, M. R. (2010). Effect of NaCl on Some Physiological Parameters of Rice. *European Journal of Biological Sciences*, *3*(1), 6-16.

4. Ashraf, M. & Rauf, H. (2001). Inducing salt tolerate in maize (*Zea mays* L.) throght seed priming with chloride salts: growth and ion transport at early growth stages. *Acta Physiologiae Plantarum*, 23, 407-414.
5. Basra, S. M. A., Ashraf, M., Iqbal, N., Khaliq, A. & Ahmad, R. (2004). Physiological and biochemical aspects of pre-sowing heat stress on cottonseed. *Seed Science and Technology*, *32*, 765-774.
6. Basra, S. M. A., Farooq, M. & Tabassum, R. (2005). Physiological and biochemical aspects of seed vigour enhancement treatments in fine rice (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology*, *33*, 623-628.
7. Bewley, J. D., Bradford, K. J., Hilhorst, H. W. & Monogaki, H. (2013). *Seeds: Physiology Development, Germination and Dormancy* (3th ed). Springer, New York, 445p.
8. Bradford, K. J. (1990). A water relations analysis of seed germination rates. *Plant Physiology*, *94*, 840-849.
9. Bradford, K. J. (2002). Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, *50*, 248-260.
10. Bradford, K. J. & Still, D. W. (2004). Application of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Science and Technology*, *26*, 74-85.
11. Cardoso, V. J. M. & Bianconi, A. (2013). Hydrotime model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. *Biological Science*, *35*, 255-261.
12. Dahal, P. & Bradford, K. J. (1990). Effects of priming and endosperm integrity on seed germination rates of tomato genotypes. II. Germination at reduced water potential. *Journal of Experimental Botany*, *41*, 1441-1453.
13. Demir Kaya, M., Okçu Gamze Atak, M., Çikili, Y. & Kolsarici, O. (2006). Seed treatment to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, *24*, 291-295.
14. Farzane, S. & Soltani, E. (2011). Relationships between Hydrotime Parameters and Seed Vigor in Sugar Beet. *Seed Science and Biotechnology*, *5*(1), 7-10.
15. Finch-Savage, W. E. & Leubner-Metzger, G. (2006). Seed dormancy and the control of germination. *New Phytologist*, *171*, 501-523.
16. Foti, S., Cosentino, S. L., Patane, C. & Agosta, G. M. D. (2002). Effects of osmoconditioning upon seed germination of sorghum (*Sorghum bicolor* L.) under low temperatures. *Seed Science and Technology*, *30*, 521-533.
17. Fujikara, Y., Kraak, H. L., Basra, A. S. & Karssen, C. M. (1993). Hydropriming, a simple and inexpensive priming method. *Seed Science and Technology*, *21*, 642-693.
18. Gummerson, R. J. (1986). The effect of constant temperature and osmotic potential on the germination of sugarbeet. *Journal of Experimental Botany*, *37*, 729-714.
19. Hanslin, H. M. & Eggen, T. (2005). Salinity tolerance during germination of seashore halophytes and salt tolerant grass cultivars. *Seed Science Research*, *15*, 43-50.
20. Harris, D., Pathan, A. K., Gothkar, P., Joshi, A., Chivasa, W. & Nyamudeza, P. (2001). On-farm seed priming: using participatory methods to revive and refine a key technology. *Agricultural Systems*, *69*, 151-164.
21. Kader, M. A. & Jutzi, S. C. (2004). Effects of thermal and salt treatments during imbibition on germination and seedling growth of sorghum at 42/19˚C. *Journal of Agronomy and Crop Science*, *190*, 35-38.
22. Kephart, K. D. & Wichman, D. M. (2004). Polimer seed coating effect on plant establishment and yield of fall seeded canola in the northern Great plains. *Canadian Journal of Plant Sciences*, *84*, 955-963.
23. Larsen, S. U., Bailly, C., Côme, D. & Corbineau, F. (2004). Use of the hydrothermal timemodel to analysis interacting effects of waterand temperature on germination of three grass species. *Seed Science Research*, *14*, 35-50.
24. Manga, V. K. (1998). Germination response of pearl millet genotypes to simulated drought condition, Crop, growth of soybean under different water potentials. *Seed Science Research*, *26*, 131-133.
25. McDonald, M. B. (1999). Seed deterioration: physiology, repair and assessment. *Seed Science and Technology*, *27*, 177-237.
26. McDonald, M. B. & Copland, O. L. (1997). *Seed production principles and practices* (2nd ed). Springer, New York, 749p.
27. Misra, N. & Dwivedi, U. N. (2004). Genotypic difference in salinity tolerance of green cultivars. *Plant Science*, *166*, 1135-1142.
28. Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Journal of Plant Cell Environ*, *25*, 239-250.
29. Murungu, F. S., Nyamugafata, P., Chiduza, C., Clark, L. J. & Whalley, W. R. (2003). Effects

of seed priming aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and Maize (*Zea mays* L.). *Soil and Tillage Research*, *74*, 161-168.

30. Rajaravindran, M. & Natarajan, S. (2012). Effects of Salinity Stress on Growth and antioxidant enzymes of the Halophyte Sesuvium portulacastrum. *International Journal of Research in Plant Science*, *2*(1), 23-28.
31. Rosalind, A. B., Oosterhuis, D. M. & Mauromoustakos, A. (1994). Growth dynamics of the cotton plant during water deficit stress. *Agronomy Journal*, *86*, 788-795.
32. Saadat, F., Ehteshami, S. M. R., Asghari, J. & Rabiee, M. (2015). Effect of seed coating with growth promoting bacteria and mocronutrients on quantitative and qualitative yield of forage corn (*Zea mays* L. SC. 640). *Iranian Journal of Filed crop Science*, *46*(3), 485-496. (In Persian).
33. Sadat-Noori, S. A., Ramshini, H. A., Soltani, E., Sadati, S. & Foghi, B. (2015). A new index to evaluate salinity tolerance at the germinationstage based on the parameters of non-linear regressions: *Trachyspermum copticum* as case study. *Seed Science and Technology*, *43*, 145-155.
34. Saleh, B. (2013). Water Status and Protein Pattern Changes Towards Salt Stress in Cotton. *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 9(1), 113-123.
35. Sevengor, S., Yasar, F., Kusvuran, S. & Ellialtioglu, S. (2011). The effect of salt stress on growth, chlorophyll content, lipid peroxidation and antioxidative enzymes of pumpkin seedling. *African Journal of Agricultural Research*, 6(21), 4920-4924.
36. Soltani, E. & Farzaneh, S. (2014). Hydrotime analysis for determination of seed vigour in cotton. *Seed Science and Technology*, 42, 260-273.
37. Soltani, E. & Soltani, A. (2015). Meta-analysis of seed priming effects on seed germination, seedling emergence and crop yield: Iranian studies. *International Journal of Plant Production*, 9(3), 413-432.
38. Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderi-Far, F. & Zeinali, E. (2013). Seed bank modelling of volunteer oil seed rape: from seeds fate in the soil to seedling emergence. *Planta Daninha*, 31, 267-279.
39. Soltani, E., Soltani, A. & Oveisi, M. (2013). Modelling Seed Aging Effect on Wheat Seedling Emergence in Drought Stress: Optimizing Germin Program to Predict Emergence Pattern. *Journal of Crop Improvement*, 15(2), 147-160. (In Persian).
40. Varier, A., Vari, A. K. & Dadlani, M. (2010). The subcellular basis of seed priming. *Current Science*, 99, 450-456.
41. Windauer, L., Altuna, A. & Benech-Arnold, R. (2007). Hydritime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Industrial Crops and Products*, 25, 70-74.
42. Zhani, K., Mariem, B. F., Fardaous, M. & Cherif, H. (2012). Impact of Salt stress (NaCl) on growth, chlorophyll content and fluorescence of Tunisian cultivars of chili pepper (*Capsicum frutescens* L.). *Journal of Stress Physiology and Biochemistry*, 8(4), 236-252.

Crops Improvement
(Journal of Agricultural Crops Production)
Vol. 20 ■ No. 3 ■ Autumn 2018

The Effect of Different Seed Coating Treatments on Seed Germination of Canola under Drought and Salinity Stresses, Using Modeling Approach

Shirin Taghi Zoghi[1], Elias Soltani[2*], Iraj Alahdadi[3], Reza Sadeghi[4]

1. M.Sc. Student of Agronomy, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aboureyhan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran.
2. Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aboureihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran.
3. Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aboureihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Entomology and Plant Diseases, Aboureihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran.

Received: July 30, 2017 Accepted: October 4, 2017

Abstract

The current research has been conducted to investigate the effects of different seed coating treatments on seed germination of canola under drought and salinity stresses. For so doing, it has conducted two factorial experiments, based on completely randomized design with four replications in the central laboratory of Aburaihan Campus, University of Tehran. In both experiments, one of the factors has included 10 different seed coating treatments (T1-T10), varying in terms of seed priming type, the kind of coat, and employed fungicide. The second factor has been different for both experiments. The first experiment investigates the levels of drought stress, viz. 0, -0.8, -1, and -1.2 MPa, while the second one deals with the levels of salinity stress, viz. 0, 7, 14, and 21 ds/m NaCl. Results indicate that the lowest hydrotime constant (θ_H) belongs to T9 (22.627 MPa h), T3 (22.538 MPa h), and T6 (22.263 MPa h), with the lowest base water potential ($\Psi_{b\ (50)}$) observed in T4 (-1.332 MPa) and T1 (-1.324 MPa) and the maximum germination percentage under salinity stress (Gmax) showing up in T2 (86.75%). Furthermore, the highest threshold to salinity tolerance (Xo) belongs to T3 (16.38 ds/m) and the highest germination rate to T3 in all levels of salinity. Totally, seed coating treatments of T3, T6, and, T9 have been the best treatments under drought stress with T3 being the best treatment under salinity stress. Also, investigation of relations among the parameters of hydrotime model and salinity model indicates that by decreasing the hydrotime constant, the threshold of salinity tolerance will be increased and more negative values of base water potentials result in higher values of maximum germination in salinity. What is more, seed priming with humic acid improves germination rate and can increase the threshold of salinity and drought tolerances. As a result, seed producers are recommended to use seed priming with humic acid prior to any seed coating treatment.

Keywords: Hydrotime, seed vigour, threshold of drought tolerance, threshold of salinity tolerance, water potential.

Corresponding author: elias.soltani@ut.ac.ir