



کاربرد مدل هیدروتایم در کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر کلزا (*Brassica napus* L.) رقم اکاپی به تنش خشکی و دما

سیدعلی طباطبایی^۱، سپیده نیکومرام^۲، امید انصاری^{۳*}

۱. دانشیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان یزد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یزد

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه تهران

۳. دانش‌آموخته دکتری علوم و تکنولوژی بذر، دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۲۸

چکیده

دو عامل اولیه مهم کنترل‌کننده جوانه‌زنی دما و پتانسیل آب می‌باشند. با استفاده از مدل هیدروتایم می‌توان پاسخ جوانه‌زنی بذر به پتانسیل آب در دماهای مختلف را کمی‌سازی کرد. در این پژوهش با استفاده از مدل هیدروتایم پاسخ جوانه‌زنی بذر کلزا (*Brassica napus* L.) رقم اکاپی به سطوح مختلف پتانسیل آب در دماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف خشکی (پتانسیل‌های ۰، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶ و -۰/۸ مگا پاسکال) در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. پاسخ جوانه‌زنی بذر با سطوح مختلف پتانسیل آب در دماهای مختلف با استفاده از مدل هیدروتایم کمی‌سازی شد (جهت محاسبه ضرایب هیدروتایم برای هر دما از مدل هیدروتایم با توزیع نرمال استفاده شد). نتایج نشان داد که در تمامی سطوح پتانسیل آب با افزایش دما تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی افزایش یافت و با افزایش پتانسیل آب، درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. ضریب هیدروتایم (ΘH) با افزایش درجه حرارت به طور معنی‌داری کاهش یافت به طوری که کمترین ضریب هیدروتایم (۱۱/۲۴ مگا پاسکال ساعت) مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. پتانسیل پایه با افزایش درجه حرارت به طور معنی‌داری کاهش یافت و بیشترین پتانسیل پایه منفی با میانگین ۰/۹۱- مگا پاسکال مربوط به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین میزان پتانسیل پایه (50Ψb) با میانگین ۰/۵۲- مگا پاسکال مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. کمترین ضریب انحراف توزیع پتانسیل پایه در جمعیت (50Ψb) (σ) (۰/۳۵) مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر کلزا به سطوح مختلف پتانسیل آب در دماهای مختلف استفاده از مدل هیدروتایم دارای نتایج نسبتاً قابل قبولی بود؛ بنابراین می‌توان با استفاده از خروجی مدل هیدروتایم در دماهای مختلف درصد جوانه‌زنی بذر کلزا را در پتانسیل‌های مختلف پیش‌بینی نمود.

واژه‌های کلیدی: توزیع نرمال، درصد جوانه‌زنی، دما، سرعت جوانه‌زنی

مقدمه

تعریف، این فرآیند با آبنوشی بذر در بذرهای خشک بالغ آغاز و با خروج ریشه‌چه (و یا به طور عمومی ناحیه جنین) از ناحیه احاطه‌کننده بذر به اتمام رسیده، سپس رشد گیاهچه ادامه می‌یابد. جوانه‌زنی فرآیند پیچیده‌ای است که بذرهای بالغ باید به سرعت از مرحله بلوغ به برنامه‌های نموی مرتبط با جوانه‌زنی

موفقیت جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه‌های طبیعی تعیین‌کننده تکثیر گونه‌های گیاهی است که از هر دو بعد اقتصادی و بوم‌شناختی اهمیت بسزایی دارد. از آنجایی که حساسیت بالایی به صدمات ناشی از بیماری‌ها یا تنش‌های محیطی وجود دارد، بنابراین جوانه‌زنی مرحله مهمی در چرخه زندگی گیاهی محسوب می‌شود (Ansari et al., 2016). بر اساس

فرآیندگرا جهت توصیف فرآیند جوانه‌زنی به صورت موفقیت‌آمیزی توسط محققان مختلف استفاده شد (Soltani et al., 2017; Bradford, 2002; Forcela, 1993). مدل‌های فرآیندگرا می‌توانند به چند گروه تقسیم شوند؛ به طوری که اگر فقط از دما استفاده شود، مدل ترمال‌تایم و اگر از رطوبت استفاده شود، مدل را هیدروتایم (Soltani et al., 2000; Grundy et al., 2000; Bradford, 2002). همچنین، نوعی از مدل‌های ریاضی برای شرح رابطه بین جوانه‌زنی با دما و پتانسیل آب استفاده شده است که این مدل‌ها، مدل‌های هیدروترمال‌تایم نامیده می‌شوند (Sester et al., 2007).

بسیاری از محققین از مدل هیدروتایم جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذرها به شرایط تنش رطوبتی استفاده کرده‌اند که از این قبیل تحقیقات می‌توان به استفاده از مدل هیدروتایم برای مقایسه بذرهای پوشش‌دار شده کلزا تحت شرایط رطوبتی مختلف (Taghi Zoghi et al., 2018)، استفاده از مدل هیدروتایم برای مقایسه بذرهای ژنوتیپ‌های مختلف کلزا تحت شرایط رطوبتی مختلف (Adeli et al., 2017)، استفاده از مدل هیدروتایم برای مقایسه بذرهای پرایم شده و پرایم نشده در بذر *Lesquerella fendleri* در شرایط دمایی مختلف (Windauer et al., 2007)، بررسی مدل هیدروتایم جهت پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر *Slender wheatgrass* (Schellenberg et al., 2013) تحت شرایط رطوبتی مختلف و در دماهای مختلف و کاربرد مدل هیدروتایم برای تحلیل جوانه‌زنی چندین گونه متفاوت تحت شرایط رطوبتی و دمایی مختلف (Huarte, 2006) اشاره کرد. همچنین با استفاده از مدل هیدروتایم پاسخ جوانه‌زنی بذر پنیرک به پتانسیل آب در دماهای مختلف کمی‌سازی شده است که نتایج نشان داد ضرایب هیدروتایم در دماهای مختلف متفاوت بوده و واکنش جوانه‌زنی در دماهای مختلف را به خوبی توجیه کرد (Ansari et al., 2016). در مطالعه‌ای دیگر طباطبایی و انصاری (Tabatabaei and Ansari, 2017) با استفاده از مدل هیدروتایم پاسخ جوانه‌زنی بذر گلرنگ به رطوبت و پرایمینگ را کمی‌سازی نمودند.

کلزا بانام علمی *Brassica napus L.* سومین گیاه روغنی مهم دنیاست که سطح کشت آن در مناطق معتدل به سرعت در حال افزایش است. با استفاده از مدل هیدروتایم می‌توان پاسخ جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف را در دماهای مختلف کمی‌سازی نمود، از این رو این پژوهش به منظور

و ادامه‌سازی جهت رشد گیاهچه تغییر مسیر می‌دهد (Nonogaki et al., 2010).

گزارش‌های مختلف حاکی از آن است که از مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف دما و رطوبت است (Ansari et al., 2016, Bradford, 2002). دما عامل تعیین‌کننده مهمی برای از بین رفتن کمون اولیه و نیز چرخه‌های کمون ثانویه به حساب می‌آید (Hilhorst, 1998). به طور کلی مشخص شده است که بذور در دامنه وسیعی از دماهای مختلف جوانه می‌زنند، اما حداکثر جوانه‌زنی آن‌ها به طور چشمگیری در آستانه‌های این دامنه کاهش نشان می‌دهد. دامنه دمایی که مقدار جوانه‌زنی در آن حداکثر بوده با توجه به نوع گونه‌ها و کیفیت بذر تغییر می‌کند. گیاهان دارای سه دمای کاردینال شامل؛ دمای پایه یا کمینه، دمای بهینه و دمای بیشینه یا سقف برای جوانه‌زنی هستند (Ansari et al., 2016). جذب آب اولین مرحله برای قرارگیری بذر در شرایط جوانه‌زنی بوده، بنابراین اگر بذر به دلیل کاهش پتانسیل آب خاک قادر به جذب آب از محیط اطراف خود نباشد، حتی در شرایط دمایی مناسب نیز قادر به جوانه‌زنی نخواهد بود (Bradford, 2002). توانایی جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط مطلوب رطوبتی، شانس استقرار بیشتر گیاه و تراکم بالاتر را در پی داشته که در نتیجه باعث افزایش رشد گیاه می‌شود (Balbaki et al., 1999). به طور معمول سرعت جوانه‌زنی به صورت خطی باقابلیت دسترسی به آب افزایش و با کاهش پتانسیل آب کاهش می‌یابد (Ansari et al., 2012). با افزایش در پتانسیل آب، درصد و سرعت جوانه‌زنی به شدت کاهش می‌یابد (Grundy et al., 2000). علاوه بر این تأثیر رطوبت خصوصاً در پتانسیل‌های منفی‌تر بر جوانه‌زنی نسبت به دما بسیار پیچیده‌تر است و در پتانسیل‌های خاصی با توجه به گونه گیاهی سازگاری‌های فیزیولوژیکی اتفاق می‌افتد (Bradford, 1990).

امروزه از مدل‌های تجربی و فرآیندگرا (مکانیستی) جهت مدل‌کردن جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف استفاده می‌شود، مدل‌های تجربی ترکیبی از سطوح تجربه شخصی می‌باشند که بر اساس تجربیات گوناگون شخصی برای جوانه‌زنی در برابر زمان به دست می‌آیند و در این مدل‌ها ممکن است به تجربیات گوناگونی نیاز باشد (Brown and Mayer, 1988). این مدل‌ها ممکن است برای اهداف شخصی استفاده شوند بنابراین توصیف بیولوژیکی پارامترهای این مدل‌ها ممکن است دشوار باشد (Bradford, 2002)؛ بنابراین مدل‌های

فرضیات ذکر شده منحنی جوانه زنی در مقابل زمان به صورت معادله زیر استفاده می شود:

$$\text{Probit}(g) = (\psi - \theta H / tg) - \psi b(50) / \sigma \psi b \quad [2]$$

برای استفاده از این معادله برای هر تیمار رطوبتی و دمایی، نسبت تجمعی جوانه زنی (g) در هر دفعه شمارش (tg) از روی نتایج حاصل از شمارش روزانه بذرهاى جوانه زده به دست آمد. با استفاده از معادله ۲ و برنامه غیرخطی (proc nlin) در نرم افزار SAS، ضرایب θH ، $\psi b(50)$ و $\sigma \psi b$ برای هر تیمار دمایی تخمین زده شد. در نهایت با استفاده از ضرایب به دست آمده نمودار زنگوله ای شکل پراکنش مقادیر پتانسیل پایه در جمعیت برای هر دما با استفاده از معادله توزیع نرمال به صورت جداگانه رسم شد. در نهایت با رسم نمودار یک به یک برای مقادیر واقعی و پیش بینی شده جوانه زنی حاصل از مدل هیدروتایم، مدل از لحاظ پیش بینی درصد جوانه زنی مورد ارزیابی قرار گرفت (Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014).

با توجه به اینکه مدل هیدروتایم حاصل مجموعه ای از داده های جوانه زنی در سطوح مختلف خشکی است برای رسم یک شکل واحد حاصل از این مدل جهت نشان دادن درصد جوانه زنی تجمعی در سطوح مختلف خشکی در مقابل زمان، باید زمان در سطوح مختلف خشکی نرمال شود، به منظور نرمال کردن زمان از معادله ۴ استفاده شد:

$$tg(0) = (1 - (\psi / \psi b(g))) \times tg \quad [3]$$

در این رابطه $tg(0)$: زمان جوانه زنی در آب مقطر (برحسب ساعت)؛ ψ : پتانسیل آب (برحسب مگا پاسکال)؛ $\psi b(g)$: پتانسیل پایه برای صدک g (برحسب مگا پاسکال)؛ tg : زمان جوانه زنی صدک g (برحسب ساعت) است.

تجزیه داده ها با استفاده از نرم افزار SAS انجام و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel رسم شد. مقایسه میانگین داده ها با آزمون LSD در سطح ۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند.

نتایج و بحث

نتایج جدول تجزیه واریانس اثر تنش خشکی و دما بر درصد جوانه زنی نشان داد که اثر تنش خشکی و دما و اثر متقابل تنش خشکی و دما بر درصد جوانه زنی بذر کلزا در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود (جدول ۱). نتایج مقایسه میانگین اثر متقابل دما و رطوبت نشان داد اثر پتانسیل آب بر

کمی سازی پاسخ جوانه زنی بذر کلزا به دما و رطوبت با استفاده از مدل هیدروتایم انجام شد.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال ۱۳۹۶ در آزمایشگاه مرکز تحقیقات یزد روی بذر کلزا رقم اکاپی (تهیه شده از شرکت تولیدکننده بذر داخلی کاسپین بذر تولید شده سال ۱۳۹۵) به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و در ۳ تکرار ۵۰ بذری انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف پتانسیل اسمزی ایجاد شده با پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ با پتانسیل های صفر، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶، -۰/۸ و -۰/۸ مگا پاسکال (Michel and Kaufmann, 1973) و دماهای مختلف شامل دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد بود. پس از آماده سازی محلول های مختلف، جهت اعمال سطوح مختلف پتانسیل اسمزی ابتدا محلول ها جهت هم دما شدن با دماهای مختلف به مدت ۲۴ ساعت در دماهای مورد استفاده قرار گرفتند و سپس تیمارهای پتانسیل اسمزی در دماهای مختلف در ۳ تکرار ۵۰ بذری اعمال شد. شمارش بذرهاى جوانه زده با فاصله زمانی ۱۲ ساعت یک بار انجام و تعداد بذرهاى جوانه زده تا زمانی که در دماهای مختلف جوانه زنی مشاهده نشد ثبت شد. معیار جوانه زنی خروج ریشه چه به اندازه ۲ میلی متر در نظر گرفته شد.

جهت کمی سازی پاسخ جوانه زنی بذر کلزا رقم اکاپی به رطوبت در دماهای مختلف از مدل هیدروتایم استفاده شد. به طور کلی مدل هیدروتایم، جوانه زنی بذر در پاسخ به پتانسیل آب را با استفاده از مدل زیر توصیف می کند (Bradford, 2002):

$$\theta H = (\psi - \psi b(g)) \times tg \quad [1]$$

که در این معادله θH : ضریب هیدروتایم برحسب مگا پاسکال ساعت؛ ψ : پتانسیل آب برحسب مگا پاسکال؛ $\psi b(g)$: پتانسیل پایه برای صدک g جوانه زنی برحسب مگا پاسکال؛ tg : زمان جوانه زنی g درصد از بذور برحسب ساعت را نشان می دهند.

در این مدل فرض بر این است که ψb در یک جمعیت بذری متفاوت بوده و از یک توزیع نرمال با میانگین $\psi b(50)$ ، انحراف معیار $\sigma \psi b$ و ضریب θH پیروی می کند (Bradford and Gummerson, 1986; Bradford and Somasco, 1994; Soltani et al., 2017). با توجه به

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر دما و پتانسیل آب بر جوانه‌زنی بذر کلزا. (LSD=3.23).

Table 1. Analyses variances of temperature and water potential on germination of *Brassica napus* L. (LSD=3.23)

S.O.V	منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage
Replication	تکرار	2	10.32 ^{ns}
Potential	پتانسیل	4	87.41 ^{**}
Temperature	دما	4	121.63 ^{**}
Potential × Temperature	پتانسیل × دما	16	48.99 ^{**}
Error	خطا	48	12.23
C.V (%)	ضریب تغییرات (%)		11.26

** نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد است.

**indicated significant difference at 1% probability

درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف متفاوت بود به طوری که درصد جوانه‌زنی با افزایش دما از ۱۰ درجه سانتی‌گراد تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یافت و بعد از آن کاهش یافت و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی در پتانسیل ۰/۸- مگا پاسکال متوقف شد (جدول ۲). با توجه به نتایج به دست آمده بیشترین درصد جوانه‌زنی با میانگین ۹۴/۱۴ درصد مربوط به شرایط بدون تنش و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود که با پتانسیل‌های ۰ و ۰/۲- دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری نداشت (جدول ۲). نتایج برش دهی (جدول ۲) نشان داد که با منفی‌تر شدن پتانسیل آب درصد جوانه‌زنی در دماهای مختلف کاهش یافت و این شدت کاهش در دماهای پایین‌تر از ۲۰ و بالاتر از ۲۵ بیشتر بود.

جدول ۲. مقایسه میانگین اثر دما و پتانسیل آب بر جوانه‌زنی بذر کلزا. (LSD=3.23).

Table 2. The effect of temperature and water potential on germination of *Brassica napus* L. (LSD=3.23).

پتانسیل (مگا پاسکال) Potential (Mpa)	Temperature (°C)			دما (درجه سانتی‌گراد)	
	10	15	20	25	30
0	70.21 ^{d(a)}	80.11 ^{c(a)}	94.14 ^{a(a)}	94 ^{a(a)}	70.74 ^{d(a)}
-0.2	46.14 ^{h(b)}	55.47 ^{fg(b)}	86.45 ^{b(b)}	90.85 ^{a(b)}	60.65 ^{e(b)}
-0.4	34.2 ^{i(c)}	45.25 ^{h(c)}	58.65 ^{ef(c)}	60.33 ^{e(c)}	36.56 ^{i(c)}
-0.6	25.1 ^{j(d)}	33.14 ^{i(d)}	46.2 ^{h(d)}	52.05 ^{g(d)}	22.24 ^{j(d)}
-0.8	10.85 ^{l(e)}	15.02 ^{k(e)}	22.25 ^{j(e)}	25.1 ^{j(e)}	0 ^{m(e)}

حروف بیرون پرانتز مقایسه میانگین اثرات متقابل کلی و حروف درون پرانتز مقایسه میانگین به روش برش دهی را نشان می‌دهد.

Letters outside the parentheses represent the mean comparison of total and letters in parentheses represent the mean comparison of slicing method.

بیشترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد و کمترین سرعت جوانه‌زنی مربوط به دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۳). پتانسیل پایه با افزایش درجه حرارت به طور معنی‌داری کاهش یافت و منفی‌ترین پتانسیل پایه با میانگین ۰/۹۱- مگا پاسکال مربوط به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد و بیشترین میزان پتانسیل پایه (50Ψb) با میانگین ۰/۵۲- مگا پاسکال مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود، (جدول ۳). پتانسیل پایه (50Ψb) نشان‌دهنده سطحی از پتانسیل است که در پتانسیل‌های کمتر از آن میزان جوانه‌زنی به کمتر از ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی خواهد رسید (Bradford, 2002)؛ بنابراین منفی‌تر

نتایج مدل هیدروتایم نشان داد که ضریب هیدروتایم (θH) با افزایش دما به طور معنی‌داری کاهش یافت، به طوری که کمترین ضریب هیدروتایم با میانگین ۱۱/۲۴ مگا پاسکال ساعت مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۳). به طور کلی گزارش‌های مختلف حاکی از آن است که ضریب هیدروتایم شاخصی از سرعت جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش خشکی است و هر چه این ضریب کمتر باشد نشان‌دهنده بیشتر بودن سرعت جوانه‌زنی است (Cardoso and Bianconi, 2013; Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014)؛ بنابراین با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان اظهار داشت با افزایش دما سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و

بنابراین با توجه به این تعریف یکنواختی جوانه زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی گراد نسبت به سایر دماها بیشتر بود یا به عبارت دیگر جوانه زنی در این دما نسبت به سایر دماها در بازه زمانی کمتری رخ داده است. در مطالعه ای بر روی کلزا گزارش شده است که ضریب هیدروتایم برای رقم اکاپی ۳۰/۷۲ مگا پاسکال، پتانسیل پایه ۰/۸۶- مگا پاسکال و ضریب انحراف توزیع پتانسیل پایه در جمعیت ۰/۴۴ بود که تا حدودی مشابه نتایج این پژوهش بود (Adeli et al., 2017). مقادیر ضریب تبیین (R²) برای مدل هیدروتایم در دماهای ۱۰ تا ۳۰ درجه سانتی گراد به ترتیب ۰/۷۰، ۰/۷۱، ۰/۷۳ و ۰/۸۲ بود که نشان دهنده برازش نسبتاً مناسب مدل بود (جدول ۳).

بودن پتانسیل پایه در دماهای کمتر از ۲۰ درجه سانتی گراد بیانگر تحمل بیشتر گیاه به شرایط تنش آبی در این دماها نسبت به سایر دماها است از این رو می توان اظهار داشت که گیاه کلزا در دماهای بالاتر از ۲۰ درجه سانتی گراد بیشتر تحت تأثیر تنش آبی قرار می گیرد.

کمترین ضریب انحراف توزیع پتانسیل پایه در جمعیت (50) Ψ_b با میانگین ۰/۳۵ مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد بود. ضریب انحراف توزیع پتانسیل پایه در جمعیت (50) Ψ_b نشان دهنده میزان یکنواختی جوانه زنی در جمعیت است (Bradford, and Still, 2004). هر چه مقدار عددی این ضریب کوچک تر باشد نشان دهنده یکنواختی بیشتر است (Tabatabaei and Ansari, 2017).

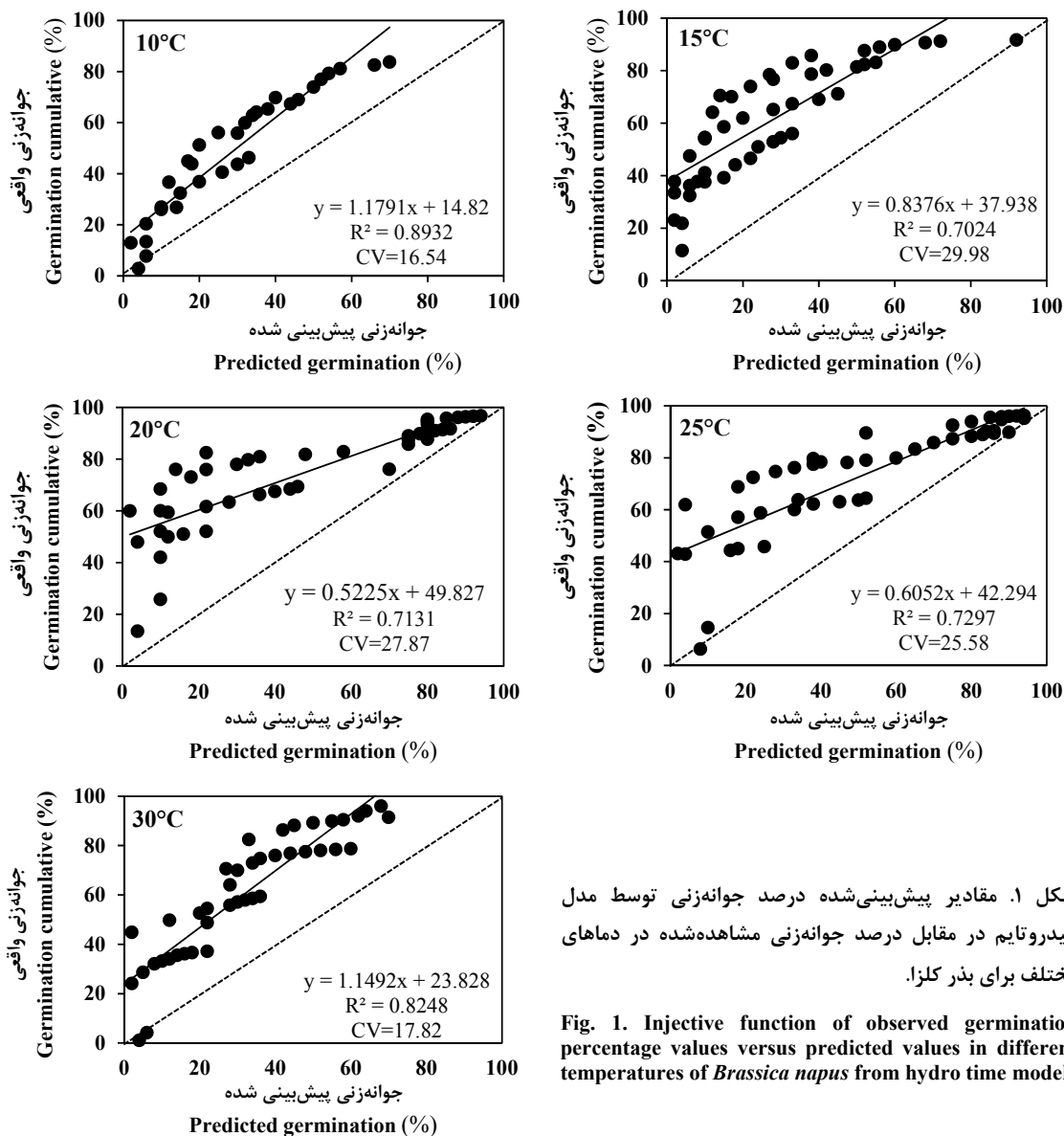
جدول ۳. ضرایب برآورد شده مدل هیدروتایم در دماهای مختلف. θ_H ، $\Psi_b(50)$ و $\sigma\Psi_b(50)$ به ترتیب نشان دهنده ضریب هیدروتایم، پتانسیل پایه و ضریب انحراف توزیع پتانسیل پایه در جمعیت کلزا. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد ضرایب است.

Table 3. Estimated parameters for hydrotim model in different temperatures. θ_H , $\Psi_b(50)$ and $\sigma\Psi_b(50)$ indicate, respectively, hydrotim constant, mean base water potential and its standard deviation in *Brassica napus* population. Numbers in parentheses represent standard error

دما (°C) Temperature	θ_H (SE) Mpa h	$\Psi_b(50)$ (SE) Mpa	$\sigma \Psi_b(50)$ (SE)	R ²
10	81.34(5.02)	-0.75(0.08)	0.41(0.02)	0.89
15	52.17(2.54)	-0.82(0.04)	0.47(0.01)	0.70
20	28.71(1.11)	-0.91(0.01)	0.44(0.01)	0.71
25	17.54(1.75)	-0.81(0.03)	0.42(0.01)	0.73
30	11.24(1.01)	-0.52(0.03)	0.35(0.01)	0.82

۱۰ و ۳۰ درجه سانتی گراد از دقت بالاتری برخوردار بود. همچنین در ادامه مشخص گردید که ارزیابی مدل برای پتانسیل پایه در دماهای ۱۰ و ۳۰ درجه سانتی گراد از دقت بالاتری برخوردار بود. به طور کلی هر چه میزان پراکندگی داده ها در اطراف خط یک به یک کمتر باشد و یا به عبارت دیگر نقاط به خط یک به یک نزدیک تر باشند مدل از دقت بالاتری برخوردار خواهد بود چراکه مقدار داده های واقعی و پیش بینی شده به هم نزدیک ترند.

نتایج نمودار یک به یک برای درصد جوانه زنی نشان داد که میزان R² مدل برای مقادیر واقعی و پیش بینی شده درصد جوانه زنی در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد به ترتیب ۰/۷۰، ۰/۷۱، ۰/۷۳، ۰/۷۳ و ۰/۸۳ بود (شکل ۱). میزان R² مدل برای مقادیر واقعی و پیش بینی شده پتانسیل پایه در دماهای ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی گراد به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۷۸، ۰/۸۰، ۰/۷۷ و ۰/۷۶ بود (شکل ۲). با توجه به نتایج نمودار یک به یک برای داده های درصد جوانه زنی می توان اظهار داشت که پیش بینی مدل هیدروتایم در دماهای

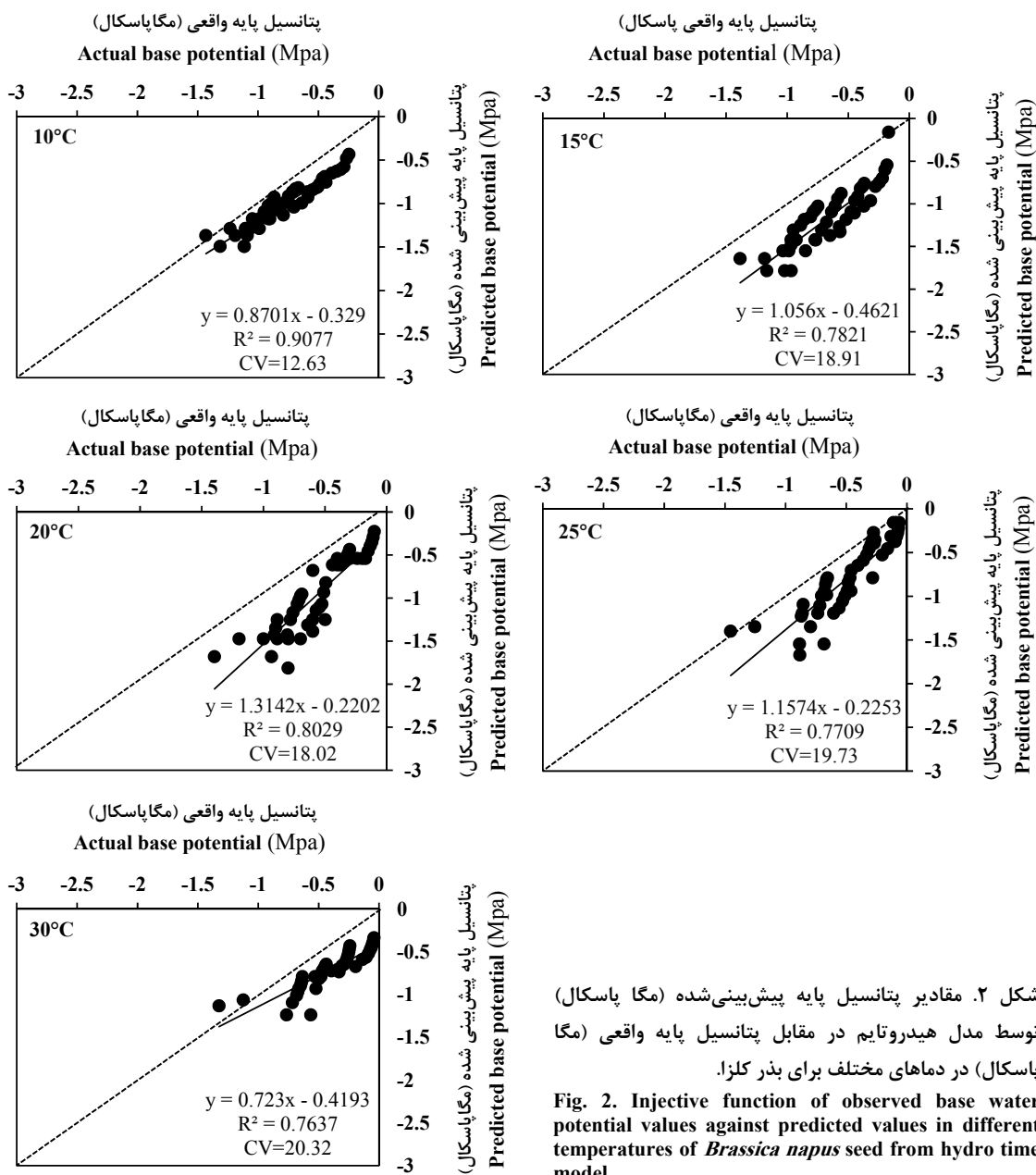


شکل ۱. مقادیر پیش‌بینی‌شده درصد جوانه‌زنی توسط مدل هیدروتایم در مقابل درصد جوانه‌زنی مشاهده‌شده در دماهای مختلف برای بذر کلزا.

Fig. 1. Injective function of observed germination percentage values versus predicted values in different temperatures of *Brassica napus* from hydro time model.

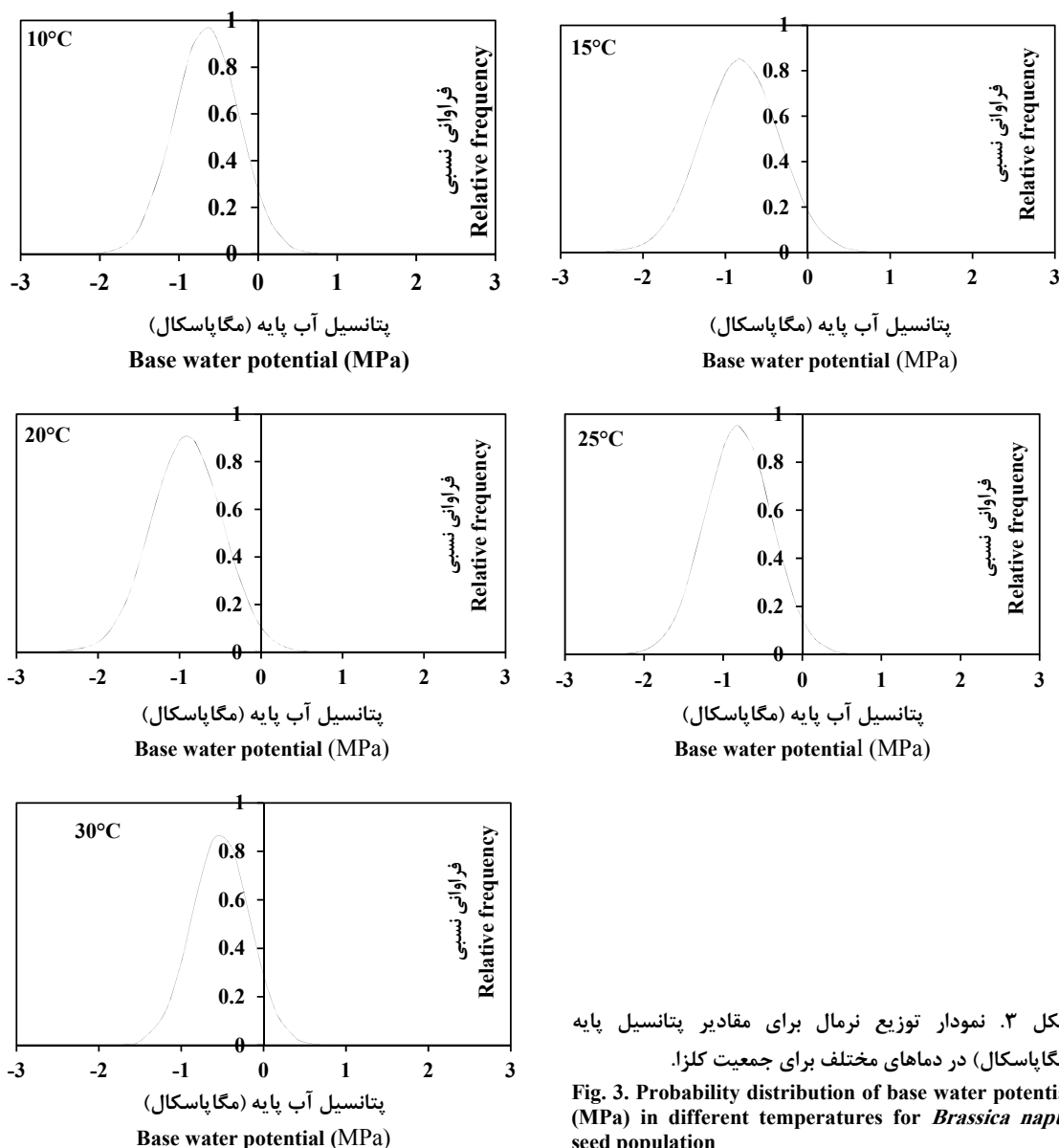
باشد مدل از دقت بالاتری برخوردار است (Alimagham and Ghaderi-Far, 2014; Tabatabaei and Ansari, 2017).

تعدادی از سایر محققین از معادله فوق جهت محاسبه مقادیر واقعی و رسم نمودار یک‌به‌یک جهت ارزیابی مدل هیدروتایم استفاده نمودند و بیان داشتند هر میزان R² بیشتر



تعدادی از محققین اظهار داشتند که از آنجایی که مقادیر پتانسیل پایه در یک جمعیت دارای توزیع نرمال است با در دست داشتن فراوانی پتانسیل پایه در هر زمان از جوانه زنی و با استفاده از معکوس تابع نرمال می توان مقادیر پتانسیل پایه در هر فراوانی را به دست آمده آورد (Alimaghani and Ghaderi-Far, 2014; Bradford, 1997).

با استفاده از نسبت جوانه زنی تجمعی در هر سطح خشکی و با استفاده از معکوس تابع نرمال مقادیر پتانسیل پایه در هر فراوانی محاسبه شد و در نهایت نمودارهای زنگوله ای رسم شد (شکل ۳). در شکل ۳ به خوبی قابل مشاهده است که پتانسیل پایه برای دماهای مختلف متفاوت است ولی نمودار آن ها برای تمامی دماها از توزیع نرمال پیروی می کند. در این راستا

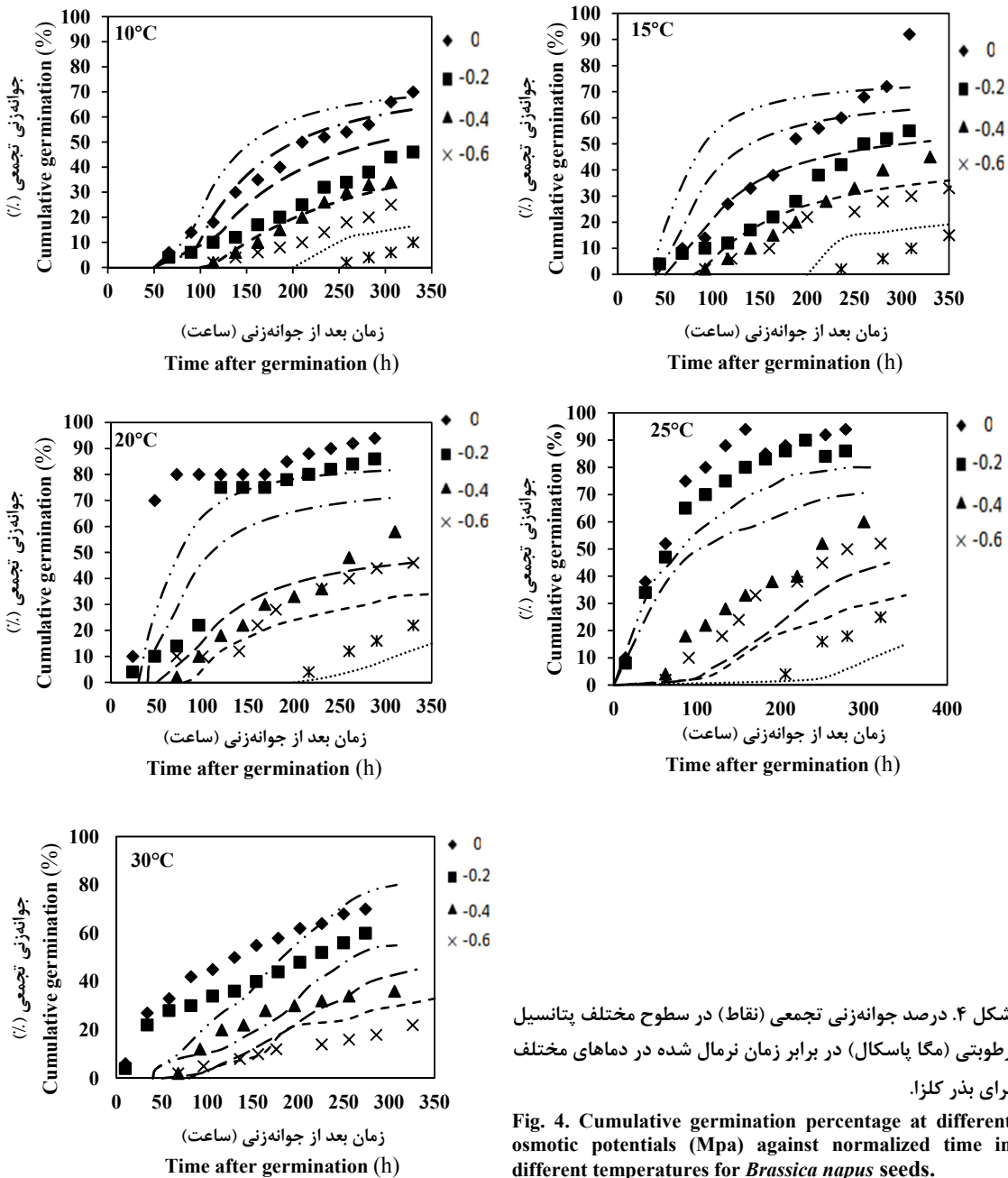


شکل ۳. نمودار توزیع نرمال برای مقادیر پتانسیل پایه (مگاپاسکال) در دماهای مختلف برای جمعیت کلزا.

Fig. 3. Probability distribution of base water potential (MPa) in different temperatures for *Brassica napus* seed population

جوانه‌زنی و سبز شدن فرآیندهای اصلی در زنده‌مانی و موفقیت گیاه بوده (del Monte and Dorado, 2011) و به‌طور کلی توانایی پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن در گیاهان زراعی، علف‌هرز و گیاهان دارویی می‌تواند سبب افزایش مدیریت زراعی و مدیریت علف‌های هرز و در نتیجه افزایش عملکرد شود (Leblanc et al., 2004; Myers et al., 2004). به‌طور کلی مدل هیدروتایم نشان می‌دهد که چگونه رطوبت سبب تنظیم جوانه‌زنی خواهد شد (Bradford, 2002).

در شکل ۴ روند درصد جوانه‌زنی تجمعی برای پتانسیل‌های مختلف در برابر زمان نرمال شده قابل‌مشاهده است که در این حالت زمان جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش آبی (خشکی) برای هر دما مشابه جوانه‌زنی در آب مقطر (شاهد) نرمال شده است. در این راستا گزارش شده است که با بررسی روند درصد تجمعی جوانه‌زنی در مقابل زمان می‌توان از مدل هیدروتایم در پیش‌بینی درصد جوانه‌زنی تجمعی گیاهان در سطوح مختلف خشکی استفاده نمود (Alimagham and Ghaderi-Far, 2014; Ansari et al., 2016).



شکل ۴. درصد جوانه زنی تجمعی (نقاط) در سطوح مختلف پتانسیل رطوبتی (مگا پاسکال) در برابر زمان نرمال شده در دماهای مختلف برای بذر کلزا.

Fig. 4. Cumulative germination percentage at different osmotic potentials (Mpa) against normalized time in different temperatures for *Brassica napus* seeds.

دماهای آزمایش شده بود. درجه حرارت به طور معنی داری بر پارامترهای مدل هیدروتایم اثرگذار بوده و با افزایش دما ضریب هیدروتایم کاهش می یابد (Windauer et al., 2007). بیان شده است که در دماهای بالاتر از مطلوب پتانسیل پایه به طور معنی داری کاهش می یابد، به طوری که کمترین پتانسیل پایه در دماهای بالاتر از دمای بهینه بدست آمده خواهد آمد (Cardoso and Bianconi, 2007).

ضریب هیدروتایم می تواند مهم ترین شاخص در تعیین قدرت بذر در شرایط تنش باشد، به طوری که بسیاری از محققین از این ضریب برای تعیین قدرت بذر تحت شرایط مختلف استفاده نموده اند (Bradford and Still, 2004; Windauer et al., 2007). بیشترین ضریب هیدروتایم در بین دماهای مربوط به دمای ۱۰ درجه سانتی گراد بود که بیانگر کمتر بودن سرعت جوانه زنی در این دما نسبت به دیگر

نشان‌دهنده سرعت جوانه‌زنی می‌باشد کاهش یافت که نشان‌دهنده افزایش سرعت با افزایش دما بود، همچنین مشخص گردید که با افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد پتانسیل پایه روندی کاهشی و بعدازآن روندی افزایش را نشان داد و منفی‌ترین پتانسیل پایه مربوط به دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد بود. در نهایت با نتایج به‌دست‌آمده می‌توان اظهار داشت که جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر کلزا در دماهای مختلف می‌توان از مدل هیدروتایم استفاده نمود.

2013)، این موضوع نشان‌دهنده کاهش توانایی جوانه‌زنی بذر در سطوح بالاتر تنش آبی (خشکی) در دماهای بالا است.

نتیجه‌گیری نهایی

نتایج به‌خوبی نشان داد که تنش خشکی در دماهای مختلف به‌طور معنی‌داری سبب کاهش درصد جوانه‌زنی بذر کلزا شد. همچنین نتایج نشان داد که ضرایب مدل هیدروتایم تحت تأثیر دما بوده و با افزایش دما ضریب هیدروتایم که

منابع

- Adeli, R., Soltani, E., Akbari, G.A., Ramshini, H.A., 2017. Assessment of seed germination on the response to water potential in different canola genotypes using hydrotim model. *Crops Improvement*. 19(4), 921-932. [In Persian with English Summary].
- Alimaghani, S.M., Ghaderi-Far, F., 2014. Hydrotim model: Introduction and application of this model in seed researches. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 7(1), 41-52. [In Persian with English Summary].
- Ansari, O., Choghazardi, H.R., Sharif Zadeh, F., Nazarli, H., 2012. Seed reserve utilization and seedling growth of treated seeds of mountain rye (*Secale montanum*) as affected by drought stress. *Ceretari Agronomic Moldova*. 2(150), 43-48.
- Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B., Ghaderi-Far, F., 2016. Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for *Malva sylvestris* using nonlinear regression. *Seed Science and Technology*. 44(3), 1-14.
- Balbaki, R.Z., Zurayk, R.A., Bleik, M.M., Tahouk, S.N., 1999. Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed Science and Technology*. 27, 291-302.
- Benech-Arnold, R.L., Sa'nchez, R.A., 1995. Modeling weed seed germination. P 545-566, In: Kigel, J., Galili, G. (eds.), *Seed Development and Germination*. New York, Marcel Dekker.
- Bradford, K.J., Somasco O.A., 1994. Water relations of lettuce seed thermoinhibition I Priming and endosperm effects on base water potential. *Seed Science Research*. 4(1), 1-10.
- Bradford, K.J., 1990. A water relation analysis of seed germination rates. *Plant Physiology*. 94, 840-849.
- Bradford, K.J., 1997. The hydrotim concept in seed germination and dormancy, pp 349-360. In: Ellis, R.H., Black, M., Murdoch, A.J., Hong, T.D. (eds.), *Basic Applied Aspect Seed Biology*, Boston, Kluwer Academic Publishers.
- Bradford, K.J., 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*. 50, 248-260.
- Bradford, K.J., Still, D.W., 2004. Application of hydrotim analysis in seed testing. *Seed Technology*. 26, 74-85.
- Brown, R.F., Mayer, G.G., 1988. Representing cumulative germination. The use of the Weibull function and other empirically derived curves. *Annals of Botany*. 6, 127-138.
- Cardoso, V.J.M., Bianconi, A., 2013. Hydrotim model can describe the response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds to temperature and reduced water potential. *Acta Scientiarum*, 35(2), 255-261.
- del Monte, J.P., Dorado, J., 2011. Effects of light conditions and after-ripening time on seed dormancy loss of *Bromus diandrus* Roth. *Weed Research*. 51, 551-590.
- Forcella, F., Oskau, K.E., Wagner, S.W., 1993. Application of weed seed bank ecology to low input crop management. *Ecology Applied*. 3, 74-83.
- Grundy, A.C., Phelps, K., Reader, R.J., Burston, S., 2000. Modelling the germination of *Stellaria media* using the concept of

- hydrothermal time. *New Phytology*. 148, 433–444.
- Gummerson R.J., 1986. The effect of constant temperatures and osmotic potentials on the germination of sugar beet. *Journal of Experimental Botany*. 37(6), 729–741.
- Hilhorst, H.W.M., 1998. The regulation of secondary dormancy. The membrane hypothesis revisited. *Seed Science Research*. 8, 77-90 .
- Huarte, R., 2006. Hydrotime analysis of the effect of fluctuating temperatures on seed germination in several non-cultivated species. *Seed Science and Technology*. 34, 533-547.
- Leblanc, M. L., Cloutier, D.C., Stewart, K.A., Hamel, C., 2004. Calibration and validation of a common lambsquarters (*Chenopodium album*) seedling emergence model. *Weed Science*. 52, 61–66.
- Michel, B.E., Kaufmann, M.R., 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*. 51, 914-916.
- Myers, M.W., Curran, W.S., VanGessel, M.J., Calvin, D.D., Mortensen, D.A., Majek, B.A., Karsten, H.D., Roth, G.W., 2004. Predicting weed emergence for eight annual species in the northeastern United States. *Weed Science*. 52, 913–919
- Nonogaki, H., Bassel G.W., Bewley J. D. 2010. Germination still a mystery. *Plant Science*. 179, 574–81.
- Schellenberg, M.P., Biligetu, B., Wei, Y., 2013. Predicting seed germination of slender wheatgrass [*Elymus trachycaulus* (Link) Gould subsp. *trachycaulus*] using thermal and hydro time models. *Canadian Journal of Plant Science*. 93, 793-798.
- Sester, M., Dürr, C., Darmency, H., Colbach, N., 2007. Modeling the effects of cropping systems on the seed bank dynamics and the emergence of weed beet. *Ecology Modeling*. 204, 47–58.
- Soltani, E., Adeli, R., Akbari, G.A. and Ramshini, H.A., 2017. Application of hydrotime model to predict early vigor of rapeseed (*Brassica napus* L.) under abiotic stresses. *Acta Physiologiae Plantarum*. 39: 252.
- Tabatabaei, S.A., Ansari, O., 2017. Quantification of safflower (*Carthamus tinctorius*) seed germination response to water potential and priming: hydro time models on the basis of normal, weibull and gumbel distributions. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 11(2), 327-340. [In Persian with English Summary].
- Taghi Zoghi, S., Soltani, E., Alahdadi, I. and Sadeghi, R., 2018. The effect of different seed coating treatments on seed germination of canola under drought and salinity stresses, using modeling approach. *Crops Improvement*. 20(3), 577-593. [In Persian with English Summary].
- Windauer, L., Altuna, A. and Benech-Arnold, R., 2007. Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Industrial Crops Products*. 25, 70-74.

Original article

Application of hydro-time model for quantification of *Brassica napus* L. germination response to water potential and temperature

S. A. Tabatabaei¹, S. Nikoumaram², O. Ansari^{3*}

1. Associate Professor, Seed and Plant Improvement Research Department, Yazd Agricultural and Natural Resources and Education Center, AREEO, Yazd, Iran

2. M.Sc. graduated of Seed Science and Technology, University of Tehran, Iran

3. PhD graduated of Seed Science and Technology, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received 25 December 2018; Accepted 19 March 2019

Abstract

Temperature and water potential are two primary environmental regulators of seed germination. Quantification of germination response to water potential at different temperature is possible using hydro time model. In this study, with using hydro time model quantification of *Brassica napus* L. germination response to water potential and temperature. In this study germination response of *Brassica napus* L. to water potential at different temperature were studied. Treatments included drought levels (0, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa) in temperatures of 10, 15, 20, 25 and 30 °C. The response of cumulative germination seeds to different potentials at different temperature was quantified using normal function. Results indicated that germination percentage increased with increasing temperature to 25°C in all water potentials, while germination percentage and germination rate reduced as a result of water potential increment. The hydro time constant (θH) declined significantly with increasing temperatures, so that the minimum hydro time constant (11.24 MPa h) was attained at 30 °C. The increment of temperature resulted in significant reduction of base water potential, and the highest base water potential (-0.91 MPa) was obtained at 20 °C, and the minimum base water potential (-0.52 MPa) was attained at 30 °C. The minimum standard deviation of base water potential in population (0.35) was obtained at 30 °C, using hydro time model for quantitation of *Brassica napus* L. Germination response to water potential at different temperatures, led to acceptable results. Utilizing the output of hydro time model at different temperatures can be useful in prediction of germination percentage of *Brassica napus* L. in different water potential.

Keywords: Germination percentage, Germination rate, Normal function, Temperature.