



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های تولید گیاهی
جلد بیستم، شماره اول، ۱۳۹۲
<http://jopp.gau.ac.ir>

مدل‌سازی جوانه‌زنی خردل وحشی تحت تأثیر دما و پتانسیل آب: مدل هیدروترمال تایم

*الیاس سلطانی^۱، افشین سلطانی^۲، سراله گالشی^۳، فرشید قادری فر^۴ و ابراهیم زینلی^۴

استادیار گروه زراعت، دانشگاه تهران و دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آدانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۱/۲/۳۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۸/۲۳

چکیده

در این پژوهش مدل‌سازی جوانه‌زنی خردل وحشی به مناسب‌ترین شکل انجام شد. برای توصیف واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما از تابع بتا استفاده شد. با توجه به مدل بتا، دمای پایه خردل وحشی در پتانسیل آب صفر حدود ۲/۹- درجه سانتی‌گراد بود و با کاهش پتانسیل آب دمای پایه به تدریج افزایش یافت و در پتانسیل آب ۰/۶- مگاپاسکال به حدود ۲ درجه سانتی‌گراد رسید. ضرایب تبیین مدل برای دماهای زیر و فوق مطلوب به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۹۴ بود که بیانگر توصیف دقت مدل در پیش‌بینی جوانه‌زنی خردل وحشی در واکنش به دما و پتانسیل آب است. ثابت هیدروترمال تایم در دمای زیرمطلوب (۲۰۷ مگاپاسکال در درجه روز) کمتر از دماهای فوق مطلوب (۲۷۴ مگاپاسکال در درجه روز) بود. پارامترها و روابطی که در این مقاله به دست آمدند می‌توانند در مدل‌های شبیه‌سازی پویایی بانک بذر یا برای ساخت یک مدل جدید استفاده شوند. همچنین نتایج این پژوهش می‌تواند برای مطالعات آبی در مورد بیولوژی و اکولوژی خردل وحشی مفید باشد.

واژه‌های کلیدی: خردل وحشی، مدل‌سازی، جوانه‌زنی، دمای پایه، مدل هیدروترمال تایم

*مسئول مکاتبه: elias.soltani@yahoo.com

مقدمه

جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه از مراحل بحرانی و مهم در چرخه زندگی گیاهان است (وینداور و همکاران، ۲۰۰۷). تنش خشکی می‌تواند بر قدرت رقابت علف‌های هرز مؤثر باشد، از طرفی تنش خشکی و دما می‌توانند بر القای کمون نیز تأثیر داشته باشند (رایت و همکاران، ۱۹۹۹؛ بیر و همکاران، ۲۰۰۶). همچنین پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن علف‌های هرز می‌تواند راهبرد مناسبی را در کنترل آن‌ها فراهم سازد (میر و همکاران، ۲۰۰۰؛ گلدن و همکاران، ۲۰۰۳؛ ماسین و همکاران، ۲۰۰۵؛ مارتینسون و همکاران، ۲۰۰۷؛ باتلا و بنچ‌آرنولد، ۲۰۰۷؛ اسکات و همکاران، ۲۰۰۸).

دما یکی از عواملی است که از طریق تنظیم کمون بر ظرفیت جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی تأثیرگذار می‌باشد (گاریسیا-هیدویرو و همکاران، ۱۹۸۲؛ کبراب و مردوخ، ۲۰۰۰). حداکثر درصد جوانه‌زنی در گیاهان در دامنه‌ای خاص از دما رخ می‌دهد و در پایین‌تر و بالاتر از این دامنه دمایی، درصد جوانه‌زنی به‌طور ناگهانی کاهش می‌یابد (کبراب و مردوخ، ۲۰۰۰). در سال ۱۸۶۰ مشخص شد که گیاهان دارای سه دمای کاردینال شامل دمای پایه یا حداقل، دمای مطلوب و دمای حداکثر یا سقف برای جوانه‌زنی هستند. دمای پایه و حداکثر، دماهایی هستند که به‌ترتیب در پایین‌تر و بالاتر از آن دماها، جوانه‌زنی متوقف می‌شود و دمای مطلوب، دمایی است که در آن مراحل جوانه‌زنی در کوتاه‌ترین زمان ممکن است اتفاق بیافتد، یعنی سرعت جوانه‌زنی در آن دما حداکثر باشد (آلواردو و برادفورد، ۲۰۰۲).

علاوه بر دما، پتانسیل آب خاک نیز یکی از عوامل مهم محیطی می‌باشد که بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه گیاهان تأثیر می‌گذارد (آندا و پیتر، ۱۹۹۴). توانایی جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط مطلوب رطوبتی، شانس استقرار بیشتر گیاه و تراکم بالاتر را در پی دارد که در نتیجه باعث افزایش عملکرد می‌شود (بالباکی و همکاران، ۱۹۹۹). به‌طور معمول سرعت جوانه‌زنی به‌طور خطی با قابلیت دسترسی به آب افزایش می‌یابد (گومرسون، ۱۹۸۶؛ گریک و همکاران، ۲۰۰۴) و درصد جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل آب کاهش می‌یابد (گراندى و همکاران، ۲۰۰۰).

نوعی از مدل‌های ریاضی برای شرح رابطه بین سرعت جوانه‌زنی با دما و پتانسیل آب استفاده شده است که به این مدل‌ها، مدل‌های هیدروترمال تایم گویند. سلطانی و همکاران (۲۰۰۸) به‌طور کامل در مورد این مدل‌ها توضیحاتی ارائه نموده‌اند. مقادیر هیدروترمال تایم و مقادیر دما و پتانسیل پایه در مدل‌سازی پویایی بانک بذر مورد نیاز هستند (سیستر و همکاران، ۲۰۰۷). این پارامترها در پیش‌بینی

سبز شدن علف‌های هرز در واکنش به دما و پتانسیل آب که دو عامل اصلی مؤثر بر جوانه‌زنی بذرهای بدون کمون هستند، کاربرد دارند. تاکنون هیچ پژوهشی در مورد مدل هیدروترمال تایم برای این گونه صورت نگرفته است. با توجه به محدود بودن اطلاعات در این زمینه، هدف از این آزمایش تعیین دماهای کاردینال، پتانسیل پایه، مقادیر ترمال تایم، هیدروتایم و هیدروترمال تایم برای علف هرز خردل وحشی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در آزمایشگاه تکنولوژی بذر گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. این آزمایشگاه مجهز به ۷ دستگاه انکوباتور می‌باشد. بنابراین، در این آزمایش همه تیمارهای دمایی هم‌زمان و در آبان ماه ۱۳۸۹ آغاز شدند. بذرهای خردل وحشی از مزارع زیر کشت کلزا در حواشی گرگان جمع‌آوری شدند. به دلیل اینکه این بذرها دارای کمون اولیه بودند قبل از شروع آزمایش توسط جیبرلیک‌اسید ۲۰۰۰ قسمت در میلیون به مدت ۲۴ ساعت تیمار شدند تا کمون اولیه آن‌ها شکسته شود. چهار تکرار ۵۰ بذری از خردل وحشی در دامنه دمایی ۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد در ترکیب با پتانسیل آب صفر، $-۰/۲$ ، $-۰/۴$ ، $-۰/۶$ و $-۰/۸$ - مگاپاسکال مورد آزمون جوانه‌زنی قرار گرفتند. طرح آماری به صورت تجزیه مرکب بود که در آن هر دما به‌عنوان یک محیط در نظر گرفته شد. در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد هیچ‌یک از بذرهای جوانه نزدند. برای ایجاد پتانسیل‌های آب مختلف از پلی‌اتیلن گلایکول ۸۰۰۰ استفاده شد. ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش کاغذهای صافی در محلول‌های مختلف تولید شده قرار داده شدند.

بازدید بذرهای هر روز دو بار صورت می‌گرفت و معیار جوانه‌زنی خروج ریشه چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود. در طول آزمایش در صورت نیاز محلول مربوطه به ظرف‌های پتری اضافه شد. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور از برنامه Germin (سلطانی و مداح، ۲۰۱۰) استفاده شد که این برنامه D10 (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد حداکثر خود برسد)، D50 (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد) و D90 (مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد) را محاسبه می‌کند. این برنامه

پارامترهای یاد شده را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون‌یابی^۱ منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از طریق فرمول زیر محاسبه شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱، ۲۰۰۲).

$$R50=1/D50 \quad (\text{سرعت جوانه زنی}) \quad (1)$$

برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال برای جوانه‌زنی بذرها دو گونه از مدل زیر استفاده شد:

$$R50 = f(T) R_{max} \quad (2)$$

در این رابطه $f(T)$ تابع دما است که از صفر در دمای پایه و سقف تا ۱ در دمای مطلوب تغییر می‌کند، R_{max} حداکثر سرعت ذاتی جوانه‌زنی در دمای مطلوب است. بنابراین I/R_{max} حداقل ساعت تا جوانه‌زنی را در دمای مطلوب نشان می‌دهد. تابع دمایی بتا برای بررسی واکنش جوانه‌زنی بذرها خردل وحشی به دما در پتانسیل‌های مختلف به داده‌ها برازش داده شده (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸):

تابع بتا:

$$\begin{aligned} & \text{// EMBED Equation.3} \quad f(T) = \\ & \left\{ \left[\frac{T-T_b}{T_o-T_b} \right] \left(\frac{T_c-T}{T_c-T_o} \right) \right\}^{\alpha} \quad \text{if } T > T_b \text{ and } T < T_c \\ & f(T) = 0 \quad \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{aligned} \quad (3)$$

در این روابط T ، دما؛ T_b ، دمای پایه؛ T_o ، دمای مطلوب؛ T_c ، دمای سقف و α پارامتر شکل برای تابع بتا است که انحنای تابع را تعیین می‌کند. پارامترها با استفاده از رگرسیون غیر خطی (سرعت جوانه‌زنی به‌عنوان y و دما به‌عنوان x) و روش کمترین توان‌های دوم با رویه NLIN محاسبه شدند (سلطانی، ۲۰۰۷).

مدل ترمال تایم (TT) در دماهای زیر (۴) و فوق (۵) مطلوب به داده‌ها برازش داده شدند (برادفورد ۲۰۰۲):

$$TT_{sub} = (T - T_b) t_g \quad (۴)$$

$$TT_{supra} = (T_c - T) t_g \quad (۵)$$

که T دمای محیط، T_b و T_c دمای پایه و دمای سقف هستند و t_g زمان تا جوانه‌زنی برای g است که g درصد خاصی از جوانه‌زنی می‌باشد. مدل هیدروتایم که به داده‌ها برازش داده شد به صورت زیر می‌باشد (گومرسون، ۱۹۸۶؛ برادفورد، ۱۹۹۰؛ برادفورد، ۲۰۰۲):

$$HT = (\psi - \psi_{b(g)}) t_g \quad (۶)$$

که در این رابطه HT ثابت هیدروتایم (مگاپاسکال در روز)، ψ پتانسیل آب محیط (مگاپاسکال)، $\psi_{b(g)}$ پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی کسری از جمعیت بذور (g) و t_g زمان (روز) برای جوانه‌زنی g . هنگامی که بذرها در دمای زیرمطلوب قرار داشته باشند و پتانسیل آب تغییر کند، سرعت جوانه‌زنی را می‌توان براساس مدل هیدروترمال تایم (HTT) به صورت زیر توصیف کرد (گومرسون، ۱۹۸۶؛ برادفورد، ۱۹۹۰؛ برادفورد، ۲۰۰۲):

$$HTT = (\psi - \psi_{b(g)}) (T - T_b) t_g \quad (۷)$$

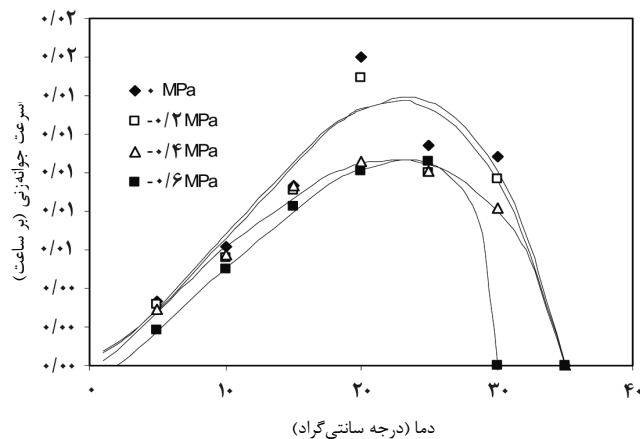
که در این رابطه HTT ثابت هیدروترمال تایم (مگاپاسکال در درجه روز) است یعنی ترکیبی از ترمال تایم تجمعی در دماهای بالاتر از دمای پایه و هیدروتایم تجمعی در پتانسیل‌های بالاتر از پتانسیل پایه. برای دماهای فوق مطلوب معادله ۸ به صورت پایین اصلاح شد (آلواردو و برادفورد، ۲۰۰۲؛ برادفورد، ۲۰۰۲؛ روز و فینچ‌ساواج، ۲۰۰۳):

$$HTT = \left\{ \psi - \left[\psi_{b(g)o} + [k_T (T - T_o)] \right] \right\} (T_o - T_b) t_g \quad (۸)$$

که در این رابطه k_T ثابت مدل است (شیب خط پتانسیل پایه در مقابل دما در دماهای بیشتر از دمای مطلوب) و $\Psi_{b(g)0}$ مقدار پتانسیل پایه در دمای مطلوب است. همه این مدل‌ها با استفاده از SAS و رویه NLIN به داده‌ها برازش داده شدند (سلطانی، ۲۰۰۷).

نتایج و بحث

شکل (۱) واکنش سرعت جوانه‌زنی خردل وحشی در مقابل دما را برای هر پتانسیل آب به‌طور جداگانه نشان می‌دهد. با توجه به مدل بتا دمای پایه خردل وحشی در پتانسیل آب صفر حدود $2/9$ - درجه سانتی‌گراد بود و با کاهش پتانسیل آب دمای پایه به تدریج افزایش یافت و در پتانسیل آب $0/6$ - مگاپاسکال به حدود 2 درجه سانتی‌گراد رسید. تغییرات دمای مطلوب نسبت به تغییر پتانسیل آب کمتر از دمای پایه بود و در دامنه‌ای از پتانسیل‌های آب بین $22/5$ تا $23/2$ درجه سانتی‌گراد تغییر داشت (جدول ۱). دمای سقف با کاهش پتانسیل آب از صفر تا $0/4$ - مگاپاسکال تغییر معنی‌داری نداشت ولی کاهش بیشتر پتانسیل آب از $0/4$ - به $0/6$ - مگاپاسکال موجب کاهش دمای سقف از 35 درجه سانتی‌گراد به 30 درجه سانتی‌گراد شد. حداکثر سرعت ذاتی جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل آب کاهش معنی‌داری داشت و از حدود $0/014$ (بر ساعت) در شرایط عدم خشکی به حدود $0/011$ (بر ساعت) در شرایط خشکی $0/4$ - و $0/6$ - کاهش یافت (جدول ۱).



شکل ۱- تابع دمایی بتا مورد استفاده برای توصیف سرعت جوانه‌زنی خردل وحشی در مقابل دما در دامنه‌ای از پتانسیل‌های آب مختلف. نقاط داده‌های واقعی و خطوط مدل را نشان می‌دهند.

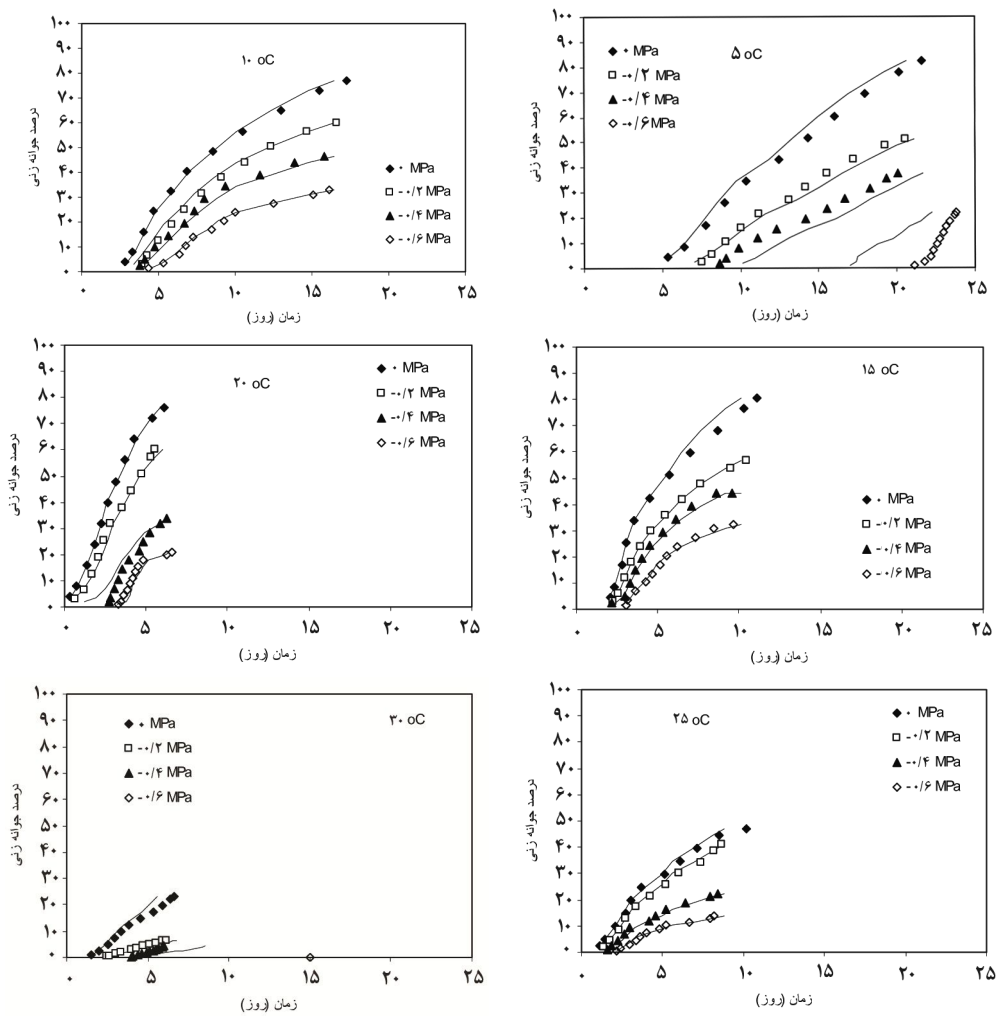
جدول ۱- تخمین پارامترهای مدل ترمال تایم در توصیف جوانه‌زنی بذر خردل وحشی در دامنه‌ای از پتانسیل آب (مگاپاسکال) در هر پتانسیل آب بذرهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد مورد آزمون جوانه‌زنی قرار گرفتند.

R ²	دماهای فوق مطلوب		دماهای زیرمطلوب		R ^{max}	T _c	T _o	T _b	پتانسیل آب (مگاپاسکال)	
	TT ₍₅₀₎	GR(%)	R ²	TT ₍₅₀₎						GR(%)
۰/۸۹	۳۰/۸۹	۲۴/۷	۰/۹۶	۶۹/۹۳	۸۳/۱	۰/۰۱۳۹±۰/۰۰۲۱۲	۳۵/۰۱±۰/۰۷۱۲	۲۳/۱۸±۲/۳۰۳	-۲/۸۹	۰
۰/۸۸	۳۵/۱۰	۱۶/۷	۰/۹۷	۶۹/۸۵	۶۰/۰	۰/۰۱۲۷±۰/۰۰۲۰۹	۳۵/۰۲±۰/۰۹۳۶	۲۲/۶۹±۲/۵۱۲	-۱/۸۷	-۰/۲
۰/۹۲	۳۶/۷۰	۹/۳	۰/۹۹	۷۱/۸۹	۴۳/۳	۰/۰۱۰۷±۰/۰۰۰۳۹	۳۵/۰۰±۰/۰۰۰۷	۲۲/۴۷±۰/۶۵۸	۰/۴۳	-۰/۴
۰/۹۶	۱۹/۷۰	۷/۳	۰/۹۹	۷۱/۰۴	۲۸/۶	۰/۰۱۰۷±۰/۰۰۰۱۸	۳۰/۰۰±۰/۰۰۰۰	۲۳/۱۹±۰/۵۹۵	۱/۹۱±۱/۶۱۵	-۰/۶

T_o، T_c و T_b دماهای پایه، مطلوب و سقف (درجه سانتی‌گراد) هستند؛ R_{max} حداکثر سرعت ذاتی جوانه‌زنی است (بر حسب ساعت)؛ GR(%) میانگین درصد جوانه‌زنی در هر پتانسیل آب؛ R² ضریب تبیین، TT₍₅₀₎ ترمال تایم برای ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی (درجه سانتی‌گراد روز) که در دماهای فوق (supra) و زیر (sub) مطلوب نشان داده شده است. لازم به ذکر است دماهای فوق مطلوب ۲۰ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شدند.

مدل ترمال تایم به خوبی قادر به پیش‌بینی جوانه‌زنی خردل وحشی بود به طوری که مقادیر ضریب تبیین در دماهای زیرمطلوب بین ۰/۹۶ تا ۰/۹۹ و در دماهای فوق مطلوب بین ۰/۸۸ تا ۰/۹۶ بود. با کاهش پتانسیل آب ترمال تایم در دماهای زیرمطلوب تغییر معنی‌داری نداشت، ولی درصد جوانه‌زنی بذرها به سرعت کاهش یافت (جدول ۱). در دماهای فوق مطلوب با کاهش پتانسیل آب تا ۰/۴- مگاپاسکال ترمال تایم تغییر معنی‌داری با پتانسیل‌های آب بالاتر نداشت، ولی کاهش پتانسیل آب تا ۰/۶- مگاپاسکال منجر به کاهش شدید ترمال تایم شد. درصد جوانه‌زنی در دماهای فوق مطلوب برای خردل وحشی بسیار کمتر از درصد جوانه‌زنی در دماهای زیرمطلوب با پتانسیل آب یکسان بود (جدول ۱).

درصد جوانه‌زنی تجمعی و مدل هیدروتایم برازش داده شده به داده‌ها برای هر دما به صورت جداگانه در شکل (۲) نشان داده شده است. زمان تا جوانه‌زنی پیش‌بینی شده در پتانسیل‌های آب مختلف به خوبی به داده‌های واقعی برازش داده شدند. به طوری که مقادیر ضریب تبیین برای این برازش‌ها بین ۰/۹۷ تا ۰/۹۹ تغییر داشت (جدول ۲). پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی بین دماهای مختلف متغیر بود؛ مقدار پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی خردل وحشی بین ۰/۸۹- مگاپاسکال (دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد) تا ۰/۷۱- مگاپاسکال (دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد) تغییر داشت. ثابت هیدروتایم با افزایش دما از ۵ درجه سانتی‌گراد به ۳۰ درجه سانتی‌گراد از حدود ۳۹ مگاپاسکال در روز به حدود ۴ مگاپاسکال در روز کاهش یافت (جدول ۲). درصد جوانه‌زنی خردل وحشی با افزایش دما از ۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد تغییر اندکی داشت و بین ۵۰ تا ۵۶ درصد تغییر داشت، ولی با افزایش دما به ۲۵ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی به حدود ۳۳ درصد و در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ۹ درصد رسید (جدول ۲؛ شکل ۲).



شکل ۲- جوانه‌زنی تجمعی بذره‌های خردل وحشی که در دامنه‌ای از پتانسیل آب و دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد مورد آزمون جوانه‌زنی قرار گرفته بودند. علایم درصد جوانه‌زنی مشاهده شده است و خطوط جوانه‌زنی تجمعی پیش‌بینی شده با مدل هیدروتایم بر اساس پارامترهای جدول ۲ را نشان می‌دهد.

جدول ۲- تخمین پارامترهای مدل هیدروتایم در ۶ دمای مختلف که جوانه‌زنی بذر خردل وحشی را در دامنه‌ای از پتانسیل‌های آب شرح می‌دهد. $\Psi_{b(50)}$ میانگین پتانسیل پایه؛ $\sigma_{\Psi b}$ انحراف معیار پتانسیل آب پایه؛ $HT_{(50)}$ ثابت هیدروتایم برای ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی؛ R^2 ضریب تبیین؛ $GR(\%)$ میانگین درصد جوانه‌زنی برای هر دما.

دما (درجه سانتی‌گراد)	$\Psi_{b(50)}$	$\sigma_{\Psi b}$	$HT_{(50)}$	R^2	$GR(\%)$
۵	-۲/۴۱	۲/۲۹	۳۸/۵۵	۰/۹۹	۵۰/۸۸
۱۰	-۴/۷۱	۶/۰۴	۳۳/۲۲	۰/۹۹	۵۶/۸۸
۱۵	-۲/۹۹	۱/۳۹	۹/۸۹	۰/۹۹	۵۶/۵۳
۲۰	-۲/۳۵	۱/۹۲	۹/۷۲	۰/۹۹	۵۰/۲۸
۲۵	-۴/۲۲	۳/۶۵	۱۲/۹۸	۰/۹۹	۳۲/۶۳
۳۰	-۰/۸۹	۰/۱۸	۳/۴۸	۰/۹۷	۹/۰۰

جدول (۳) پارامترهای مدل هیدروتایم را نشان می‌دهد. ضرایب تبیین مدل برای دماهای زیر و فوق مطلوب به ترتیب ۰/۸۶ و ۰/۹۴ بود که بیانگر توصیف خوب مدل در پیش‌بینی جوانه‌زنی خردل وحشی در واکنش به دما و پتانسیل آب است. ثابت هیدروتایم در دمای زیرمطلوب (۲۰۷ مگاپاسکال در درجه روز) کمتر از دماهای فوق مطلوب (۲۷۴ مگاپاسکال در درجه روز) بود. پژوهش‌های مختلفی برای تعیین ضرایب هیدروتایم در گیاهان مختلف صورت گرفته است. برای مثال: لارسن و همکاران (۲۰۰۴) نشان دادند که ضرایب هیدروتایم در ارقام مختلف فسکیو قرمز^۱، چچم^۲ و علف کنتاکی^۳ به ترتیب حدود ۸۴، ۶۵ و ۲۶۸ مگاپاسکال درجه روز بود. وات و همکاران (۲۰۱۰) نشان دادند که ثابت هیدروتایم برای دو گونه *Pinus radiata* و *Buddleja davidii* به ترتیب حدود ۱۶۵ و ۱۰۵ مگاپاسکال درجه روز بود. آلودو و برادفورد (۲۰۰۲) گزارش نمودند که ثابت هیدروتایم برای سیب‌زمینی در دماهای زیرمطلوب و فوق مطلوب به ترتیب ۲۰۹۰ و ۱۳۰ مگاپاسکال درجه ساعت بود. بلومبرگ و همکاران (۲۰۰۹) با سه روش مختلف مدل هیدروتایم را برای *Pinus radiata* برازش دادند و نشان دادند که با روش‌های مختلف ضریب هیدروتایم بین ۱۴۹ تا ۱۷۶ مگاپاسکال درجه روز تغییر کرد. رز و فینچ‌ساواج

1. *Festuca rubra* ssp. *litoralis*
2. *Lolium perenne*
3. *Poa pratensis*

(۲۰۰۳) مقادیر هیدروترمال تایم را برای هویج و پیاز به ترتیب حدود ۴۸ و ۴۷ مگاپاسکال درجه روز به دست آوردند.

جدول ۳- تخمین پارامترهای مدل هیدروترمال تایم که جوانه‌زنی بذر خردل وحشی را در دامنه‌ای پتانسیل آب و دما توصیف می‌کند.

پارامتر	دمای زیرمطلوب	دمای فوق مطلوب
T_b (درجه سانتی‌گراد)	$-0/61 \pm 0/238$	$-0/61 \pm 0/338$
T_o (درجه سانتی‌گراد)	-	$22/88 \pm 0/056$
$\psi_{b(50)}$ (مگاپاسکال)	$-3/12 \pm 0/120$	-
$\psi_{b(50)o}$ (مگاپاسکال)	-	$-2/55 \pm 0/299$
k_T	-	$0/146$
$HTT_{(50)}$ (مگاپاسکال درجه روز)	$207/4$	$273/7$
R^2	$0/86$	$0/94$

T_o و T_b دمای پایه و مطلوب؛ $\psi_{b(50)}$ پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی؛ $\psi_{b(50)o}$ پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب؛ k_T ثابت مدل است (شیب خط پتانسیل پایه در مقابل دما در دماهای بیشتر از دمای مطلوب)؛ $HTT_{(50)}$ ثابت هیدروترمال تایم؛ R^2 ضریب تبیین.

نتیجه گیری

بذرهای خردل وحشی در دمای پایه کمتر از $2/9-$ درجه سانتی‌گراد قادر به جوانه‌زنی نبودند و تنش خشکی توانست دمای پایه برای جوانه‌زنی را تا حدود ۲ درجه سانتی‌گراد افزایش دهد. دمای مطلوب برای جوانه‌زنی خردل وحشی حدود ۲۲ درجه سانتی‌گراد بود و تحت تأثیر تنش خشکی قرار نگرفت. دمای سقف خردل وحشی حدود ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود و با کاهش پتانسیل آب تا $0/6-$ مگاپاسکال به حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. ترمال تایم موردنیاز برای جوانه‌زنی خردل وحشی در دماهای زیر و فوق مطلوب به ترتیب حدود ۷۰ و ۳۱ درجه سانتی‌گراد بر درجه روز بود. ترمال تایم برای جوانه‌زنی خردل وحشی تحت تأثیر خشکی قرار نگرفت. میانگین پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی خردل وحشی در دماهای مختلف حدود $3/1-$ مگاپاسکال بود. کمترین پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی این گونه در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد ($4/7-$ مگاپاسکال) و بیشترین پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد ($0/9-$ مگاپاسکال) حاصل شد. هیدروترمال تایم برای جوانه‌زنی این

گونه در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد حدود ۳۹ مگاپاسکال در روز بود و با افزایش دما کاهش نشان داد. ضرایب هیدروترمال تایم نیز برای این گونه تعیین شدند که به ترتیب در دماهای زیر و فوق مطلوب عبارت از ۲۰۷ و ۲۷۳ مگاپاسکال درجه روز بودند.

امتیاز مدل‌های مورد استفاده این پژوهش در این است که پارامترهای این مدل‌ها دارای مفاهیم بیولوژیکی هستند. با استفاده از مدل‌سازی جوانه‌زنی می‌توان اثرات زوال بذر، پرایمینگ بذر و کمون بذر را مورد مطالعه قرار داد. همچنین از این مدل‌ها برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی و سبز شدن، تعیین پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی و تعیین زمان جوانه‌زنی و سبز شدن استفاده شده است (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۰). سلطانی و همکاران (۲۰۱۰) گزارش نمودند که کاربرد این مدل‌ها در ایران کمتر مشاهده شده است و می‌توان از این مدل‌ها بیشتر در پژوهش‌های علوم بذر و به‌خصوص در واکنش جوانه‌زنی به دما و پتانسیل آب استفاده نمود. از طرفی پارامترهای به‌دست آمده در این پژوهش برای مدل‌های پیش‌بینی پویایی بانک بذر (نظیر مدل‌های GeneSys، سیستم و همکاران، ۲۰۰۸ و ALOMYSYS، کولباخ و همکاران، ۲۰۰۶) مورد نیاز هستند.

منابع

1. Alvarado, V., and Bradford, K.J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ.* 25: 1061-1069.
2. Anda, A., and Pinter, L. 1994. Sorghum germination and development at influenced by soil temperature and water content. *Agron. J.* 86: 621-624.
3. Bair, N.B., Meyer, S.E., and Allen, P.S. 2006. A hydrothermal after-ripening time model for seed dormancy loss in *Bromus tectorum* L. *Seed Sci. Res.* 16: 17-28.
4. Balbaki, R.Z., Zurayk, R.A., Blek, M.M., and Tahouk, S.N. 1999. Germination and seedling development of drought tolerant and susceptible wheat under moisture stress. *Seed. Sci. Technol.* 27: 291-302.
5. Batlla, D., and Banech-Arnold, R.L. 2007. Predicting changes in dormancy level in weed seed soil banks: Implications for weed management. *Crop Prot.* 26: 189-197.
6. Bloomberg, M., Sedcole, J.R., Mason, E.G., and Buchan, G. 2009. Hydrothermal time germination models for radiata pine (*Pinus radiata* D. Don). *Seed Sci. Res.* 19: 171-182.
7. Bradford, K.J. 1990. A water relation analysis of seed germination rates. *Plant Physiol.* 94: 840-849.

8. Bradford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci.* 50: 248–260.
9. Colbach, N., Durr, C., Roger-Estrade, J., Chauvel, B., and Caneill, J. 2006. AlomySys: Modelling black-grass (*Alopecurus myosuroides* Huds.) germination and emergence, in interaction with seed characteristics, tillage and soil climate I. Construction. *Eur. J. Agron.* 24: 95–112.
10. Garcia-Huidobro, J., Monteith, J.L., and Squier, G.R. 1982. Time, temperature and germination of Pearl Millet (*Pennisetum typhoides*, S & H). *J. Exp. Bot.* 33: 288- 296.
11. Grundy, A.C., Phelps, K., Reader, R.J., and Burston, S. 2000. Modeling the germination of *Stellaria media* using the concept of hydrothermal time. *New Phytol.* 148: 433- 444.
12. Guerke, W.R., Gutormson, T. Meyer, D., McDonald, M., Mesa, D., Robinson, J.C., and TeKrony, D. 2004. Application of hydrottime analysis in seed testing. *Seed Tech.* 26 (1): 75- 85.
13. Gulden, R.H., Shirliffe, S.J., and Thomas, A.G. 2003. Harvest losses of canola (*Brassica napus*) cause large seed bank inputs. *Weed Sci.* 51: 83–86.
14. Gummerson, R.J. 1986. The effect of constant temperature and osmotic potential on the germination of sugar beet. *J. Exp. Bot.* 37: 729-714.
15. Kebreab, E., and Murdoch, A.J. 2000. The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobanches aegyptiaca* seeds. *Seed Sci. Res.* 10: 127-133.
16. Larsen, S.U., Bailly, C., Côme, D. and Corbineau, F. 2004. Use of the hydrothermal time model to analyse interacting effects of water and temperature on germination of three grass species. *Seed Sci. Res.* 14: 35–50.
17. Martinson, K., Durgan, B., Forcella, F., Wiersma, J., Spokas, K., and Archer, D. 2007. An Emergence Model for Wild Oat (*Avena fatua*). *Weed Sci.* 55: 584 – 591.
18. Masin, R., Zuin, M.C., Archer, D.W., Forcella, F., and Zanin, G. 2005. Weed Turf: a predictive model to aid control of annual summer weeds in turf. *Weed Sci.* 53: 193–201.
19. Meyer, S.E., Debaene-Gill, S.B., and Allen, P.S. 2000. Using hydrothermal time concepts to model seed germination response to temperature, dormancy loss, and priming effects in *Elymus elymoides*. *Seed Sci. Res.* 10: 213–223.
20. Rowse, H.R., and Finch-Savage, W.E. 2003. Hydrothermal threshold models can describe the germination response of carrot (*Daucus carota*) and onion (*Allium cepa*) seed populations across both sub- and supra-optimal temperature. *New Phytol.* 158: 101-108.
21. Schutte, B.J., Regnier, E.E., Harrison, S.K., Schmoll, J.T., Spokas, K., and Forcella, F. 2008. A Hydrothermal Seedling Emergence Model for Giant Ragweed (*Ambrosia trifida*). *Weed Sci.* 56: 555–560.

22. Sester, M., Dürr, C., Darmency, H., and Colbach, N. 2007. Modeling the effects of cropping systems on the seed bank dynamics and the emergence of weed beet. *Eco. Model.* 204: 47–58
23. Sester, M., Tricault, Y., Darmency, H., and Colbach, N. 2008. GeneSys-Beet: A model of the effects of cropping systems on gene flow between sugar beet and weed beet. *Field Crops Res.* 107: 245–256.
24. Soltani, A. 2007. Application and using of SAS program in statistical analysis. Jihad- Daneshgahi., Press, Mashhad, Iran, 180p. (In Persian).
25. Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E., and Latifi, N. 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. *Seed Sci. Technol.* 30: 51-60.
26. Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agric. For. Meteorol.* 138: 156-167.
27. Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S., and Latifi, N. 2001. Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea Coast of Iran. *Seed Sci. Technol.* 29: 653-662.
28. Soltani, A., and Maddah, V. 2010. Simple, applied programs for education and research in agronomy. Shahid Beheshti University Press. (In Persian).
29. Soltani, E., Akramghaderi, F., and Soltani, A. 2008. Applications of germination modeling on the response to temperature and water potential in seed science research. The 1st Congress of Seed Science and Technology, Gorgan, Iran. (In Persian).
30. Soltani, E., Galeshi, S., Kamkar, B., and Akramghaderi, F. 2008. Modeling seed aging effects on the response of germination to temperature in wheat. *Seed Sci. Biotech.* 2: 32-36.
31. Watt, M.S., Xu, V., and Bloomberg, M. 2010. Development of a hydrothermal time seed germination model which uses the Weibull distribution to describe base water potential. *Eco. Model.* 221: 1267-1272.
32. Windauer, L., Altuna, A., and Benech-Arnold, R. 2007. Hydrottime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Industrial Crop. Prod.* 25: 70–74.
33. Wright, K.J., Seavers, G.P., Peters, N.C.B., and Marshall, M.A. 1999. Influence of soil moisture on the competitive ability and seed dormancy of *Sinapis arvensis* in spring wheat. *Weed Res.* 39: 309-317.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Plant Production, Vol. 20 (1), 2013

<http://jopp.gau.ac.ir>

Seed germination modeling of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) as affected by temperature and water potential: hydrothermal time model

***E. Soltani¹, A. Soltani², S. Gaeshi³, F. Ghaderi-Far⁴ and E. Zeinali⁴**

¹Assistant Prof., Dept. of Agronomy, University of Tehran & Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Professor, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Associate Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Science and Natural Resources, ⁴Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Abstract

In this research, seed germination modeling of wild mustard was conducted satisfactory. Beta function was used to describe seed germination rate to temperature. Base temperature was -2.9°C and it was increased with decreasing water potential to about 2°C in -0.6 MPa . The R^2 values were 0.86 in sub-optimal temperatures, and this value for supra-optimal temperatures was 0.94. The R^2 values showed a good fitness of the hydrothermal time model under both sub- and supra-optimal temperatures. The hydrothermal values were 207 and 274 $\text{MPa }^{\circ}\text{C}$ for sub- and supra-optimal temperatures, respectively. The parameters and relationships estimated here can be used in soil seed bank dynamics models or can be use to establish a new model for the environment. The results of this study will also be useful for future studies of wild mustard biology and ecology.

Keywords: Wild mustard; Modeling Germination; Base temperature; Hydrothermal time model

*Corresponding Author; Email: elias.soltani@yahoo.com

