



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مجله پژوهش‌های تولید گیاهی  
جلد هجدهم، شماره اول، ۱۳۹۰  
www.gau.ac.ir/journals

## مدل‌سازی جوانه‌زنی سویا (*Glycine max L.*) و گاوپنبه (*Abutilon theophrasti med.*) در واکنش به اثرات متقابل دما و پتانسیل آب

\*اسماعیل بخشنده<sup>۱</sup>، رحمن غدیریان<sup>۱</sup>، سرالله گالشی<sup>۲</sup> و الیاس سلطانی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آستاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۲</sup>دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
تاریخ دریافت: ۸۹/۸/۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۱۷

### چکیده

دما و رطوبت از عوامل ضروری جوانه‌زنی بذر هستند. هر دو عامل به‌طور جداگانه و یا با هم می‌توانند بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر تأثیرگذار باشند. مدل‌های ترمال‌تایم و هیدروتایم به‌طور گسترده و موفقیت‌آمیز به‌ترتیب برای توصیف رابطه بین دما و جوانه‌زنی و رابطه بین پتانسیل آب و جوانه‌زنی استفاده شده‌اند. همچنین، به‌منظور توصیف ترکیب اثر دما و پتانسیل آب بر جوانه‌زنی از مدل هیدروترمال‌تایم استفاده می‌شود. در این مطالعه اثر متقابل پنج سطح دما (۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد) و پنج سطح خشکی (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ - مگاپاسکال) بر جوانه‌زنی دو رقم سویا به اسامی دی‌پی‌ایکس و ویلیامز و گیاه گاوپنبه، در سال ۱۳۸۹ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در هر سه گیاه با کاهش پتانسیل آب، دمای پایه و مقدار ترمال‌تایم (درجه سانتی‌گراد در روز) تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی افزایش یافت، و در پتانسیل‌های پایین مقدار ترمال‌تایم در گاوپنبه از دو رقم سویا کم‌تر بود. همچنین، با کاهش دما از ۲۵ به ۷ درجه سانتی‌گراد پتانسیل پایه در هر سه گیاه به‌طور میانگین از ۰/۹- به ۰/۶- مگاپاسکال و هیدروتایم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی از ۱/۴ به ۱۰ مگاپاسکال در روز افزایش پیدا کرد، به‌طوری‌که در دماهای پایین مقدار هیدروتایم در گاوپنبه از دو رقم سویا کم‌تر بود. پس از کمی‌سازی ترکیب اثر دما و رطوبت در این سه گیاه با استفاده از مدل

\* مسئول مکاتبه: bakhshandehesmail@yahoo.com

مجله پژوهش‌های تولید گیاهی (۱۸)، شماره (۱) ۱۳۹۰

هیدروترمال‌تایم، مقدار دمای پایه برای جوانه‌زنی گیاه گاوپنبه، ارقام ویلیامز و دی‌پی‌ایکس به ترتیب ۳/۹، ۴/۳ و ۵/۲ درجه سانتی‌گراد، پتانسیل پایه برای هر سه گیاه ۰/۹- مگاپاسکال و مقدار هیدروترمال‌تایم به ترتیب ۲۶/۷، ۲۶/۵ و ۲۷/۳ مگاپاسکال در درجه سانتی‌گراد در روز محاسبه شد. با توجه به نتایج این مطالعه می‌توان چنین استنباط کرد که از نظر جوانه‌زنی، گیاه گاوپنبه در شرایط تنش رطوبتی و دمایی مشابه، قدرت رقابتی بالاتری نسبت به ارقام سویا مورد مطالعه داشت.

**واژه‌های کلیدی:** سرعت جوانه‌زنی، ترمال‌تایم، هیدروترمال‌تایم، هیدروترمال‌تایم، مدل‌سازی

### مقدمه

جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه از مراحل بحرانی و مهم در چرخه زندگی گیاهان می‌باشند (وینداور و همکاران، ۲۰۰۷). جوانه‌زنی اولین و مهم‌ترین مرحله نمودی در گیاه است که تحت تأثیر عوامل ژنتیکی و محیطی قرار می‌گیرد (فولی و فینمور، ۱۹۹۸؛ میر و پندلتون، ۲۰۰۰). تأخیر و استقرار نامناسب گیاهچه از معضلات مهم در نواحی است که گیاهان با تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی، شوری و دمای پایین مواجه هستند (لیوینگستون و دی‌جونگ، ۱۹۹۰).

از این‌رو هر عاملی که از طریق کاهش سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی منجر به استقرار نامناسب و تراکم پایین گیاهچه شود، باعث کاهش عملکرد می‌گردد. بنابراین جوانه‌زنی خوب و مناسب تحت محدوده وسیعی از شرایط محیطی، برای استقرار خوب گیاهچه و تولید عملکرد مطلوب ضروری است (جاکوپسن و باج، ۱۹۹۸). دما، آب و اکسیژن از عوامل محیطی تأثیرگذار بر جوانه‌زنی در بذرهای بدون کمون می‌باشند، همچنین برای بذرهای دارای کمون علاوه بر این عوامل ممکن است نور و محیط‌های شیمیایی نیز نیاز باشد (باسکین و باسکین، ۲۰۰۱). از بین عوامل محیطی ذکر شده در بالا، دما و آب از جمله عوامل بسیار مهم برای جوانه‌زنی بذرهای بدون کمون هستند (برادفورد، ۱۹۹۰؛ برادفورد، ۲۰۰۲). هر دو عامل هر کدام به تنهایی و یا همراه با هم می‌توانند بر روی درصد و سرعت جوانه‌زنی تأثیرگذار باشند (باسکین و باسکین، ۲۰۰۱؛ لارسن و همکاران، ۲۰۰۴).

دما یکی از عواملی است که بر درصد و سرعت جوانه‌زنی تأثیرگذار است (کیو و همکاران، ۲۰۰۶؛ کیراب و موردوج، ۲۰۰۰). حداکثر درصد جوانه‌زنی در گیاهان در دامنه خاصی از دماها رخ می‌دهد و در پایین‌تر و بالاتر از این دامنه دمایی درصد جوانه‌زنی به‌طور ناگهانی کاهش می‌یابد. همچنین، سرعت

## اسماعیل بخشنده و همکاران

جوانه‌زنی با افزایش دما تا دمای مطلوب جوانه‌زنی افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد (کبراب و موردوچ، ۲۰۰۰). برادفورد (۲۰۰۲) بیان داشت که انعقاد پروتئین‌ها و اختلال در کار غشاها از جمله عواملی هستند که باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی بذور در دماهای بالاتر از دمای مطلوب می‌شوند. تیگرسون و همکاران (۲۰۰۲) کاهش کارایی متابولیکی بذور را از دیگر عوامل کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمای مطلوب گزارش کردند.

علاوه بر دما، پتانسیل آب خاک نیز یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی است که بر جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه تأثیر می‌گذارد (آندا و پیتر، ۱۹۹۴). در مورد اثرات کاهش پتانسیل آب بر جوانه‌زنی، رشد گیاهچه و همچنین عملکرد در گیاهان مختلف گزارش‌هایی وجود دارد و مطالعات بیانگر آن است که کاهش پتانسیل آب منجر به کاهش شانس استقرار گیاه، سبز شدن یکنواخت، سرعت جوانه‌زنی و عملکرد می‌شود (هاکل، ۱۹۹۳؛ بالباکی و همکاران، ۱۹۹۹؛ اسپرینگر، ۲۰۰۵). همچنین، توانایی جوانه‌زنی بذرها تحت شرایط تنش رطوبتی شانس استقرار بیشتر گیاه و تراکم گیاهی بالاتر را در پی دارد که در نتیجه منجر به افزایش عملکرد می‌شود (بالباکی و همکاران، ۱۹۹۹). معمولاً 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 (گراندی و همکاران، ۲۰۰۰).

در اغلب موارد، ممکن است عوامل محیطی مختلفی که بر جوانه‌زنی بذرها تأثیرگذار هستند، با یکدیگر اثر متقابل داشته باشند. در مورد اثرات متقابل دما و پتانسیل آب بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه مطالعاتی در گیاهان مختلف انجام شده است (لارسن و همکاران، ۲۰۰۴؛ کبراب و موردوچ، ۲۰۰۰؛ بلومنتان و همکاران، ۱۹۹۶؛ آندا و پیتر، ۱۹۹۴؛ هاکل، ۱۹۹۳؛ لیوینگستون و دی‌جونگ، ۱۹۹۰). برای مثال، کبراب و موردوچ (۱۹۹۹) در گل‌جالیز گزارش کرد که بذره‌های این گیاه در دمای مطلوب در سطوح پایین‌تری از پتانسیل آب جوانه می‌زنند. همچنین گزارش شده است که پتانسیل آب پایه برای جوانه‌زنی بذره‌های گیاهان زراعی با افزایش دما در بالاتر از دمای مطلوب افزایش می‌یابد (آلوارادو و برادفورد، ۲۰۰۲؛ رز و فینچ‌ساویج، ۲۰۰۳). علاوه بر آن، روابط بین سرعت جوانه‌زنی و دما می‌تواند به‌وسیله قابلیت دسترسی به آب تغییر کند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ رز و فینچ‌ساویج، ۲۰۰۳). مطالعات زیادی نشان داده که پتانسیل آب پایه با تغییر دما تغییر می‌کند (فای‌فیلد و گری‌گوری، ۱۹۸۹؛ آلوارادو و برادفورد، ۲۰۰۲). دمای پایه از ویژگی‌های یک توده بذری و احتمالاً یک گونه می‌باشد (الیس و بونچر، ۱۹۸۸). کبراب و موردوچ (۱۹۹۹) گزارش کردند که دمای پایه تحت تأثیر پتانسیل آب قرار می‌گیرد و با کاهش پتانسیل آب افزایش می‌یابد.

تأثیر دما بر روی جوانه‌زنی اغلب با استفاده از مدل ترمال‌تایم<sup>۱</sup> قابل توصیف است (برادفورد، ۲۰۰۲؛ کیو و همکاران، ۲۰۰۶؛ کبراب و موردوچ، ۱۹۹۹). اما، برای توصیف رابطه بین پتانسیل آب و جوانه‌زنی از مدل هیدروتایم<sup>۲</sup> استفاده می‌شود (گومرسون، ۱۹۸۶؛ برادفورد، ۱۹۹۷؛ برادفورد، ۲۰۰۲؛ برادفورد و استیل، ۲۰۰۴؛ کبراب و موردوچ، ۱۹۹۹). همچنین، به‌منظور بررسی اثر هم‌زمان دما و پتانسیل آب بر جوانه‌زنی از مدل هیدروترمال‌تایم<sup>۳</sup> که ترکیبی از دو مدل ترمال‌تایم و هیدروتایم است استفاده می‌شود (برادفورد، ۲۰۰۲؛ آلن و همکاران، ۲۰۰۰؛ کبراب و موردوچ، ۱۹۹۹). امتیاز استفاده از این مدل‌ها این است که پارامترهای این مدل‌ها دارای مفاهیم بیولوژیکی هستند. سلطانی و همکاران (۲۰۰۸) گزارش کردند که از مدل‌های ترمال‌تایم، هیدروتایم و هیدروترمال‌تایم می‌توان برای مدل‌سازی جوانه‌زنی اثرات زوال بذر، پرایمینگ بذر، کمون بذر و همچنین، تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی و سبز شدن، تعیین پتانسیل پایه برای جوانه‌زنی و تعیین زمان جوانه‌زنی و سبز شدن در گیاهان مختلف استفاده کرد.

با توجه به این‌که اطلاعات زیادی در مورد اثرات متقابل دما و پتانسیل آب بر جوانه‌زنی سویا و گاوپنبه وجود نداشت. در این مطالعه سعی شده تا اثرات متقابل دما و پتانسیل آب بر جوانه‌زنی، واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما در پتانسیل‌های مختلف آب و واکنش سرعت جوانه‌زنی به پتانسیل آب در دماهای مختلف، تعیین دمای پایه و اثرات پتانسیل آب بر آن و تعیین پتانسیل آب پایه و اثرات دما بر آن در دو گونه گیاهی سویا و گاوپنبه مورد بررسی قرار گیرد.

## مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال ۱۳۸۹ به‌صورت تجزیه مرکب در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. تیمارهای آزمایشی شامل ۵ سطح دما (۷، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد)، و ۵ سطح پتانسیل آب (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۸ - مگاپاسکال) و دو گونه گیاهی شامل گاوپنبه<sup>۴</sup> و سویا<sup>۵</sup> (ارقام دی‌پی‌ایکس<sup>۶</sup> و ویلیامز)

- 1- Thermal Time Model
- 2- Hydrotime Model
- 3- Hydrothermal Time Model
- 4- *Abutilon Theophrasti* Med.
- 5- *Glycine Max*, L.
- 6- DPX

بودند. تیمارهای دمایی توسط انکوباتور با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد تأمین شد. سطوح مختلف خشکی از طریق فرمول میچل و کافمن (۱۹۷۳) و با استفاده از پلی‌اتیلن‌گلیکول<sup>۱</sup> ۶۰۰۰ تهیه شدند. همچنین، برای تهیه سطح شاهد از آب مقطر استفاده شد. هر واحد آزمایشی شامل یک پتری‌دیش به قطر ۱۰ سانتی‌متر بود، که تعداد ۲۵ بذر سویا و ۳۰ بذر گاوپنبه در آن و بر روی دو حوله کاغذی در زیر و یک حوله کاغذی بر روی بذرها قرار داده شدند.

برای شکستن خواب بذرهای گاوپنبه از روش خراش‌دهی پوسته بذر توسط سنباده (درجه زبری ۱۰۰) به مدت ۷ دقیقه و اسید سولفوریک ۹۵ درصد به مدت ۲۵ دقیقه به صورت ترکیبی استفاده شد (اطلاعات شخصی منتشر نشده). ضد عفونی بذرها با استفاده از سم کربوکسیل‌تیرام به نسبت ۲ در هزار و به صورت مخلوط با محلول‌های تهیه شده انجام شد. شمارش بذور جوانه‌زده دو بار در روز انجام شد. به هنگام شمارش بذوری جوانه‌زده تلقی می‌شدند که طول ریشه‌چه آن‌ها ۲ میلی‌متر یا بیش‌تر بود. شمارش تا هنگامی که افزایشی در تعداد بذور جوانه‌زده مشاهده نشد، ادامه یافت. در طول آزمایش در صورت نیاز آب مقطر و محلول‌های تهیه شده به پتری‌دیش‌ها اضافه شد.

برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها از برنامه جرمن<sup>۲</sup> استفاده شد. این برنامه  $D_{50}$  (یعنی مدت زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد) را از طریق درون‌یابی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. همچنین، سرعت جوانه‌زنی در این برنامه از طریق معکوس زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی ( $1/D_{50}$ ) محاسبه می‌شود (سلطانی و مداح، ۲۰۱۰).

برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما از مدل ترمال‌تایم به صورت رابطه زیر استفاده شد (کیو و همکاران، ۲۰۰۶):

$$GR = (T - T_b) / \theta_T \quad (1)$$

که در این رابطه، GR: سرعت جوانه‌زنی<sup>۳</sup>،  $\theta_T$ : ثابت ترمال‌تایم (درجه سانتی‌گراد در روز) یعنی مقدار دماهای بالاتر از دمای پایه، که باید برای رسیدن به درصد خاصی از جوانه‌زنی، به صورت تجمعی جمع شوند، T: دمای محیط و  $T_b$ : دمای پایه (درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.

1- Polyethylene Glycol

2- Germin

3- Germination Rate

برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به پتانسیل آب از مدل هیدروتایم به صورت رابطه زیر استفاده شد (گومرسون، ۱۹۸۶؛ برادفورد و استیل، ۲۰۰۴):

$$GR = (\psi - \psi_b) / \theta_H \quad (2)$$

که در این رابطه، GR: سرعت جوانه‌زنی،  $\theta_H$ : ثابت هیدروتایم (مگاپاسکال در روز) یعنی مقدار پتانسیل‌های آب بالاتر از پتانسیل پایه، که باید برای رسیدن به درصد خاصی از جوانه‌زنی، به صورت تجمعی جمع شوند،  $\psi$ : پتانسیل آب و  $\psi_b$ : پتانسیل آب پایه (مگاپاسکال) می‌باشد. برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما و پتانسیل آب از مدل هیدروترمال‌تایم به صورت رابطه زیر استفاده شد (کبراب و موردوچ، ۱۹۹۹؛ برادفورد، ۲۰۰۲). این مدل می‌تواند الگوهای جوانه‌زنی بذرها را در دامنه‌ای از دماها و پتانسیل‌های آب مختلف توصیف کند.

$$\theta_{HTT} = (\psi - \psi_b)(T - T_b)t_g \quad (3)$$

که در این رابطه،  $\theta_{HTT}$ : ثابت هیدروترمال‌تایم (مگاپاسکال در درجه سانتی‌گراد در روز)،  $T$ : دمای محیط و  $T_b$ : دمای پایه (درجه سانتی‌گراد)،  $\psi$ : پتانسیل آب و  $\psi_b$ : پتانسیل آب پایه (مگاپاسکال) می‌باشد. این تابع واکنش جوانه‌زنی در دماهای زیر مطلوب و در پتانسیل‌های آب مختلف را به خوبی توصیف می‌کند (آلوارادو و برادفورد، ۲۰۰۲؛ لارسن و همکاران، ۲۰۰۴).

تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری به کمک رویه پروک انلین<sup>۱</sup> در نرم‌افزار SAS<sup>۲</sup> صورت گرفت (سلطانی، ۲۰۰۷). در روش مطلوب‌سازی تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن با روش کم‌ترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود، تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام می‌شود تا بهترین برآورد از پارامترها به دست آید.

## نتایج و بحث

به منظور توصیف رابطه بین سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما در پتانسیل‌های آب مختلف، مدل ترمال‌تایم (رابطه ۱) برازش و بررسی انجام شد. در جدول ۱ مقادیر دمای پایه و ترمال‌تایم تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در پتانسیل‌های آب مختلف ارائه شده است. مقدار ضریب تبیین بالاتر از ۰/۸۴

1- Proc Nlin

2- Statistical Analysis System

نشان‌دهنده آن است که این مدل به خوبی توانسته رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما را در پتانسیل‌های آب مختلف توصیف کند. نتایج نشان داد که در هر سه گیاه روابط خطی بین سرعت جوانه‌زنی و دما تحت تأثیر پتانسیل آب قرار گرفت. وانگ و همکاران (۲۰۰۵) نتایج مشابهی را در مورد گیاه برگ‌نقره‌ای گزارش کردند. در پتانسیل آب صفر (شاهد) مقدار دمای پایه که در آن سرعت جوانه‌زنی به صفر می‌رسد، در گاوپنبه (۳/۳۲ درجه سانتی‌گراد) پایین‌تر از ارقام ویلیامز و دی‌پی‌ایکس به ترتیب با دمای پایه ۴/۱ و ۵/۲ درجه سانتی‌گراد بود. اما بین این دو گونه از لحاظ آماری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۱). اوول و همکاران (۱۹۸۶) پس از بررسی دماهای کاردینال گیاهان مختلف، دمای پایه جوانه‌زنی در پتانسیل آب صفر را برای بذرهای نخود، عدس و سویا به ترتیب صفر، ۲/۵، ۴ درجه سانتی‌گراد و دمای پایه گیاه سلمه‌تره را ۳ درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند. همچنین، نتایج نشان داد که با کاهش پتانسیل آب از صفر به ۰/۸- مگاپاسکال مقدار دمای پایه و ترمال‌تایم تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذرها در دو رقم سویا و گاوپنبه افزایش یافت (جدول ۱).

برای کمی‌سازی روند تغییرات دمای پایه با تغییرات پتانسیل آب در هر سه گیاه از یک مدل دوتکه‌ای به شکل زیر استفاده شد:

$$y = a + bx \quad \text{اگر} \quad x \leq x_0 \quad (۴)$$

$$y = a + bx_0 \quad \text{اگر} \quad x > x_0$$

که در آن،  $y$ : دمای پایه،  $x$ : پتانسیل آب،  $a$ : عرض از مبدا،  $b$ : شیب خط و  $x_0$ : مقداری از  $x$  که پس از آن مقدار  $y$  ثابت می‌شود، می‌باشند.

نتایج بیانگر آن است که در هر سه گیاه در پتانسیل‌های آب صفر تا حدود ۰/۲- مگاپاسکال، دمای پایه ثابت بود. به عبارتی تا ۰/۲- مگاپاسکال دمای پایه تحت تأثیر پتانسیل آب قرار نگرفت. اما با کاهش بیش‌تر پتانسیل آب از ۰/۲- تا ۰/۸- مگاپاسکال مقدار دمای پایه به صورت خطی افزایش یافت (جدول ۱ و شکل ۱). فای‌فیلد و گری‌گوری (۱۹۸۹) در مورد گیاه مانگ‌بن<sup>۱</sup> و کبراب و موردوچ (۱۹۹۹) در مورد گیاه گل‌جالیز، پس از بررسی اثر متقابل پتانسیل آب و دما بر جوانه‌زنی، گزارش کردند که مقدار دمای پایه با کاهش پتانسیل آب به طور معنی‌داری افزایش یافت.

جدول ۱- ضرایب ثابت ترمال تایم<sup>۱</sup> (TT) و دمای پایه<sup>۲</sup> (T<sub>b</sub>) در مدل ترمال تایم (رابطه ۱) برای توصیف رابطه بین سرعت جوانه زنی<sup>۳</sup> (R<sub>g</sub>) با دما در پتانسیل‌های آب مختلف در دو رقم سویا (دی‌پی‌ایکس و ویلیامز) و گیاه گاوپنبه. خطای استاندارد<sup>۴</sup> (SE)؛ جذر میانگین مربعات خطا<sup>۵</sup> (RMSE) و ضریب تبیین<sup>۶</sup> (R<sup>۲</sup>) هستند.

R <sup>۲</sup>	RMSE	T <sub>b</sub> ± SE (درجه سانتی‌گراد)	TT ± SE (درجه سانتی‌گراد در روز)	پتانسیل آب (مگاپاسکال)	گیاه
۰/۹۸	۰/۰۳۶	۵/۲۱ ± ۰/۸۴	۲۷/۸ ± ۱/۹۴	۰	
۰/۹۹	۰/۰۱۶	۴/۶۷ ± ۰/۶۸	۴۷/۳ ± ۲/۵۵	-۰/۲	
۰/۸۶	۰/۰۴۱	۵/۸۷ ± ۳/۰۳	۷۶/۶ ± ۷/۵۷	-۰/۴	دی‌پی‌ایکس
۰/۹۵	۰/۰۲۴	۷/۷۲ ± ۱/۲۹	۷۴/۵ ± ۹/۵۴	-۰/۶	
۰/۸۴	۰/۰۲۲	۹/۹۳ ± ۲/۱۳	۱۴۸/۵ ± ۳۷/۱۸	-۰/۸	
۰/۹۷	۰/۰۴۷	۴/۰۸ ± ۱/۲۰	۲۸/۳ ± ۲/۶۱	۰	
۰/۹۷	۰/۰۳۲	۳/۴۹ ± ۱/۳۳	۴۳/۳ ± ۴/۲۴	-۰/۲	
۰/۹۵	۰/۰۳۴	۵/۰۹ ± ۱/۶۴	۵۵/۷ ± ۷/۴۹	-۰/۴	ویلیامز
۰/۹۲	۰/۰۳۳	۷/۳۴ ± ۱/۸۲	۷۳/۸ ± ۱۲/۹۳	-۰/۶	
۰/۹۶	۰/۰۱۱	۸/۸۱ ± ۱/۰۲	۱۳۷/۰ ± ۱۵/۱۴	-۰/۸	
۰/۹۸	۰/۰۴۲	۳/۳۲ ± ۱/۱۸	۲۹/۴ ± ۲/۵۲	۰	
۰/۹۵	۰/۰۴۴	۲/۸۶ ± ۱/۸۵	۴۲/۰ ± ۵/۵۲	-۰/۲	
۰/۹۷	۰/۰۲۶	۵/۴۴ ± ۱/۱۹	۵۵/۰ ± ۵/۴۷	-۰/۴	گاوپنبه
۰/۹۴	۰/۰۳۱	۷/۵۷ ± ۱/۵۰	۶۶/۶ ± ۹/۸۳	-۰/۶	
۰/۸۴	۰/۰۲۷	۹/۶۷ ± ۲/۱۹	۱۲۶/۵ ± ۳۱/۸۵	-۰/۸	

برای کمی‌سازی مقدار ترمال تایم تا ۵۰ درصد جوانه زنی بذرها با پتانسیل آب از یک معادله ساده خطی (y=a+bx) استفاده شد. نتایج نشان داد که با کاهش پتانسیل آب (منفی‌تر شدن)، مقدار ترمال تایم به صورت خطی افزایش یافت (جدول ۱ و شکل ۲). کبراب و موردوچ (۱۹۹۹) در مورد

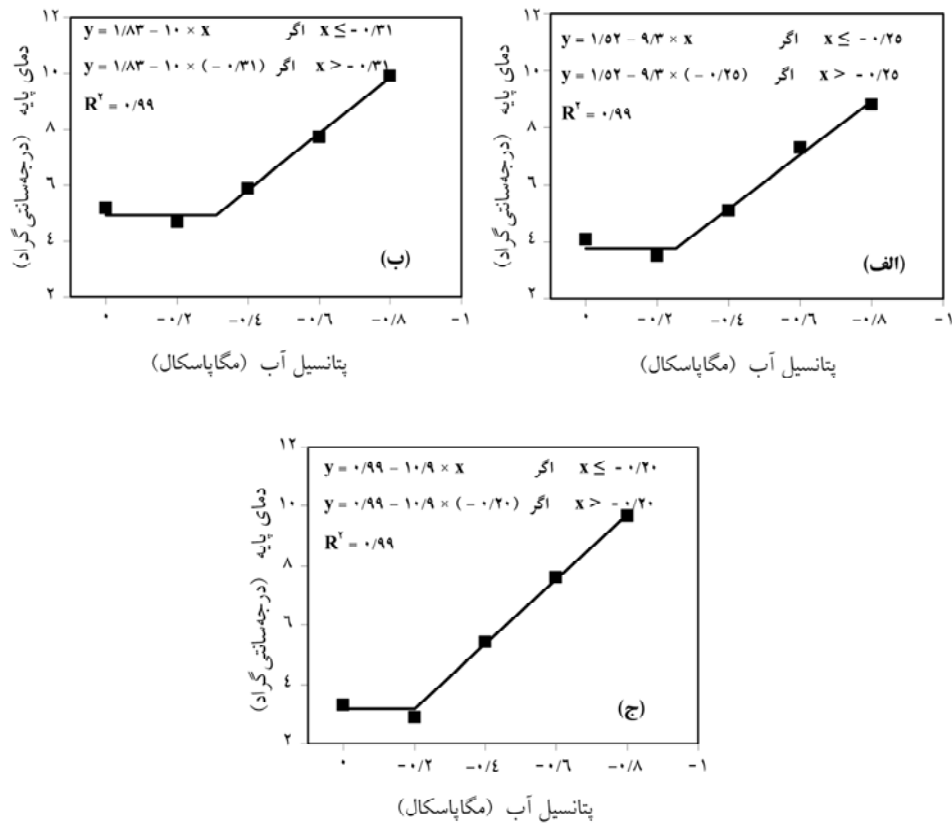
- 1- Thermal Time Model
- 2- Base Temperature
- 3- Germination Rate
- 4- Standard Error
- 5- Root Mean Square Error
- 6- Determinant Coefficient



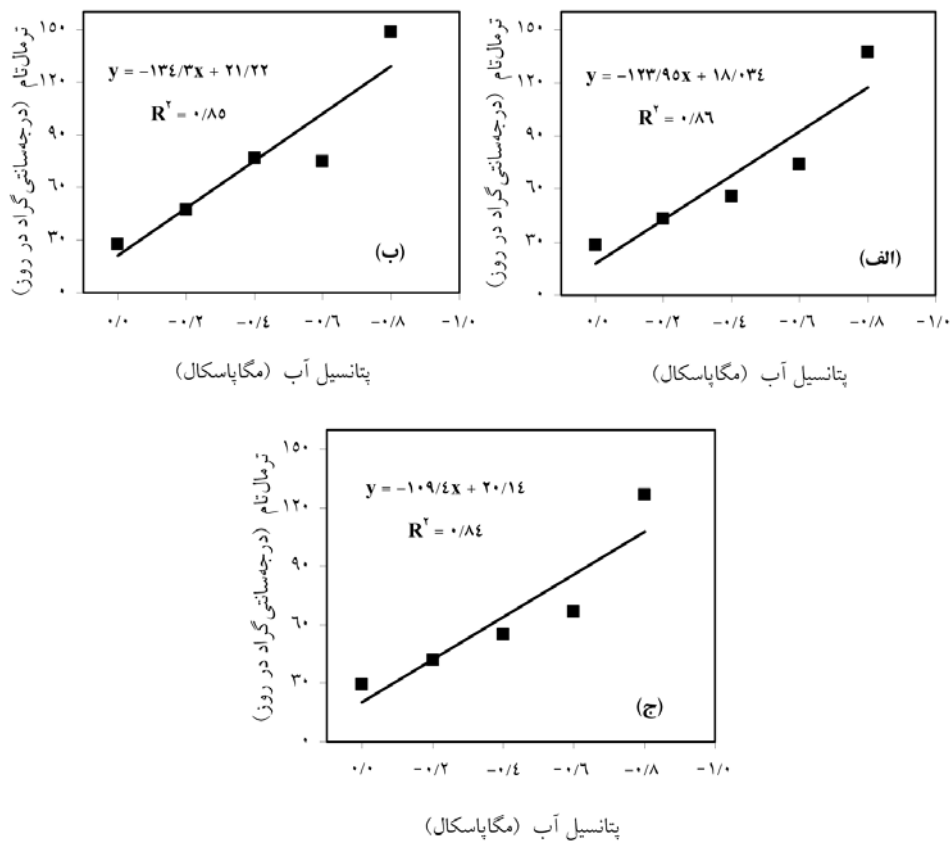
گیاه گل جالیز بیان کردند که میانگین ترمال تایم تا درصد خاصی از جوانه زنی نیز تحت تأثیر پتانسیل آب قرار گرفت و با منفی تر شدن پتانسیل آب ترمال تایم افزایش یافت.

شکل ۳ مثالی از روند تغییرات درصد جوانه زنی تجمعی بذره‌های سویا (رقم دی پی ایکس) در پتانسیل‌های آب مختلف و تحت تیمارهای دمایی مختلف را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، در هر سه گیاه درصد جوانه زنی نسبت به سرعت جوانه زنی، کم‌تر تحت تأثیر تغییرات دما و پتانسیل آب قرار گرفت. به‌عنوان مثال، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه زنی رقم دی پی ایکس در پتانسیل‌های آب صفر،  $-0/2$  و  $-0/4$  مگاپاسکال حداکثر مقدار بود (بالا تر از ۹۷ درصد)، اما در همین دما، زمان رسیدن به حداکثر مقدار جوانه زنی در پتانسیل‌های آب صفر،  $-0/2$  و  $-0/4$  مگاپاسکال، به ترتیب ۷۵، ۱۱۲ و ۱۶۰ ساعت بود، یعنی با کاهش پتانسیل آب زمان تا حداکثر جوانه زنی افزایش یافت (شکل ۳- الف). البته چنین روندی را با کاهش دما هم می‌توان مشاهده کرد (شکل ۳). اکرم‌قادری (۲۰۰۸) گزارش کرد که با کاهش پتانسیل آب (منفی تر شدن) در تمام دماهای مورد بررسی، درصد و سرعت جوانه زنی در هر سه گیاه کدو تخم‌کاغذی، سیاه‌دانه و گاوزبان کاهش یافت. اما، حساسیت سرعت جوانه زنی نسبت به دما و پتانسیل آب بیش‌تر از درصد جوانه زنی بود.

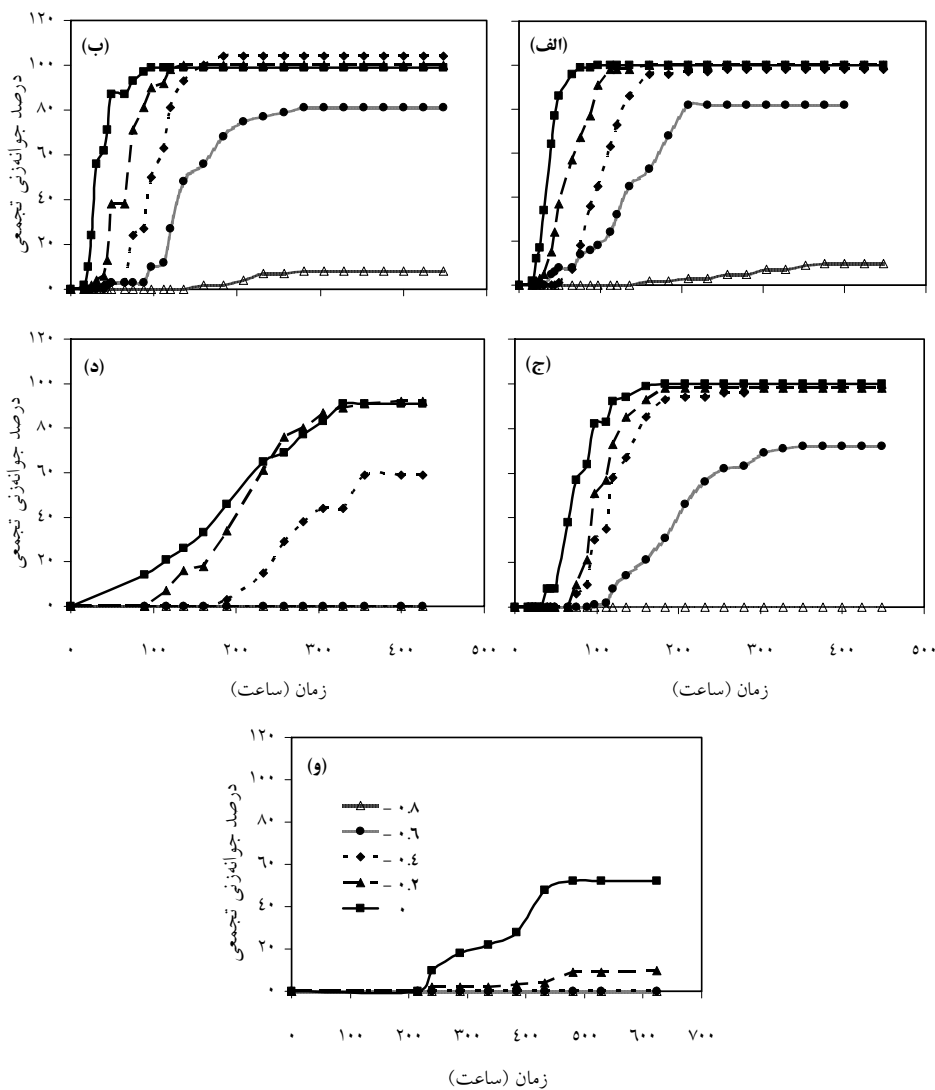
به‌منظور تعیین رابطه بین سرعت جوانه زنی در مقابل پتانسیل آب در دماهای مختلف، مدل هیدروتایم (رابطه ۲) به‌طور جداگانه برآزش و بررسی انجام شد (جدول ۲). مقدار ضریب تبیین بالاتر از  $0/80$  نشان‌دهنده توصیف خوب این رابطه برای کمی‌سازی سرعت جوانه زنی و پتانسیل آب در دماهای مختلف می‌باشد (جدول ۲). نتایج نشان داد که در دمای مطلوب ۲۵ درجه سانتی‌گراد مقدار پتانسیل پایه گیاه گاوپنبه از دو رقم سویا اندکی پایین‌تر بود، اما از نظر آماری بین دو گونه گیاهی اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. به‌طور کلی، با افزایش دما از ۷ به ۲۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار هیدروتایم (مگاپاسکال در روز) و پتانسیل پایه در هر دو گونه گیاهی کاهش یافت (جدول ۲).



شکل ۱- برازش مدل رگرسیونی دو تکه‌ای برای توصیف تغییرات دمای پایه در مقابل پتانسیل آب در ارقام سویا و گیاه گاوپنبه (رقم ویلیامز (الف)؛ رقم دی‌پی‌ایکس (ب)؛ گیاه گاوپنبه (ج)).



شکل ۲- برازش مدل رگرسیون ساده خطی ( $y=a+bx$ ) برای توصیف تغییرات ترمال تا بام تا ۵۰ درصد جوانه زنی در مقابل پتانسیل آب در ارقام سویا و گیاه گاوپنبه (رقم ویلیامز (الف)؛ رقم دی پی ایکس (ب)؛ گیاه گاوپنبه (ج)).



شکل ۳- مثالی از روند تغییرات درصد جوانه‌زنی تجمعی بذره‌های سویا (رقم دی‌پی‌ایکس) در پتانسیل‌های آب مختلف (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸- مگاپاسکال) و تحت تیمارهای دمایی مختلف (۲۵ (الف)؛ ۲۰ (ب)؛ ۱۵ (ج)؛ ۱۰ (د) و ۷ (و) درجه سانتی‌گراد).

جدول ۲- ضرایب ثابت هیدروتایم<sup>۱</sup> (HT) و پتانسیل پایه<sup>۲</sup> (P<sub>b</sub>) در مدل هیدروتایم (رابطه ۲) برای توصیف رابطه بین سرعت جوانه زنی (R<sub>o</sub>) با پتانسیل آب در دماهای مختلف در دو رقم سویا، دی پی ایکس و ویلیامز و گیاه گاوپنبه، خطای استاندارد (SE)؛ جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R<sup>۲</sup>) هستند.

گیاه	دما (درجه سانتی گراد)	HT ± SE (مگاپاسکال در روز)	P <sub>b</sub> ± SE (مگاپاسکال)	RMSE	R <sup>۲</sup>
دی پی ایکس	۷	۱۲/۵ ± ۳/۶۵	-۰/۶۵ ± -۰/۱۰۹	۰/۰۱۳	۰/۸۰
	۱۰	۴/۹ ± ۰/۸۳	-۰/۷۴ ± -۰/۰۷۶	۰/۰۲۱	۰/۹۲
	۱۵	۲/۲ ± ۰/۲۵	-۰/۸۲ ± -۰/۰۵۸	۰/۰۳۳	۰/۹۶
	۲۰	۱/۹ ± ۰/۲۶	-۰/۸۹ ± -۰/۰۷۷	۰/۰۴۳	۰/۹۵
	۲۵	۱/۴ ± ۰/۲۹	-۰/۹۰ ± -۰/۱۱۶	۰/۰۸۳	۰/۸۹
ویلیامز	۷	۱۰/۰ ± ۳/۳۳	-۰/۶۷ ± -۰/۱۲۹	۰/۰۱۸	۰/۸۵
	۱۰	۳/۶ ± ۰/۵۱	-۰/۷۲ ± -۰/۰۶۰	۰/۰۲۴	۰/۹۴
	۱۵	۲/۰ ± ۰/۱۳	-۰/۸۶ ± -۰/۰۳۶	۰/۰۲۱	۰/۹۹
	۲۰	۱/۷ ± ۰/۱۸	-۰/۹۱ ± -۰/۰۶۲	۰/۰۳۹	۰/۹۷
	۲۵	۱/۴ ± ۰/۱۴	-۰/۹۲ ± -۰/۰۶۱	۰/۰۴۶	۰/۹۷
گاوپنبه	۷	۸/۴ ± ۲/۴۲	-۰/۶۵ ± -۰/۱۰۹	۰/۰۱۹	۰/۸۰
	۱۰	۳/۱ ± ۰/۴۳	-۰/۷۲ ± -۰/۰۶۰	۰/۰۲۸	۰/۹۴
	۱۵	۱/۹ ± ۰/۱۴	-۰/۸۲ ± -۰/۰۳۹	۰/۰۲۶	۰/۹۸
	۲۰	۱/۷ ± ۰/۲۲	-۰/۹۱ ± -۰/۰۷۷	۰/۰۴۹	۰/۹۵
	۲۵	۱/۴ ± ۰/۱۱	-۰/۹۵ ± -۰/۰۵۰	۰/۰۳۵	۰/۹۸

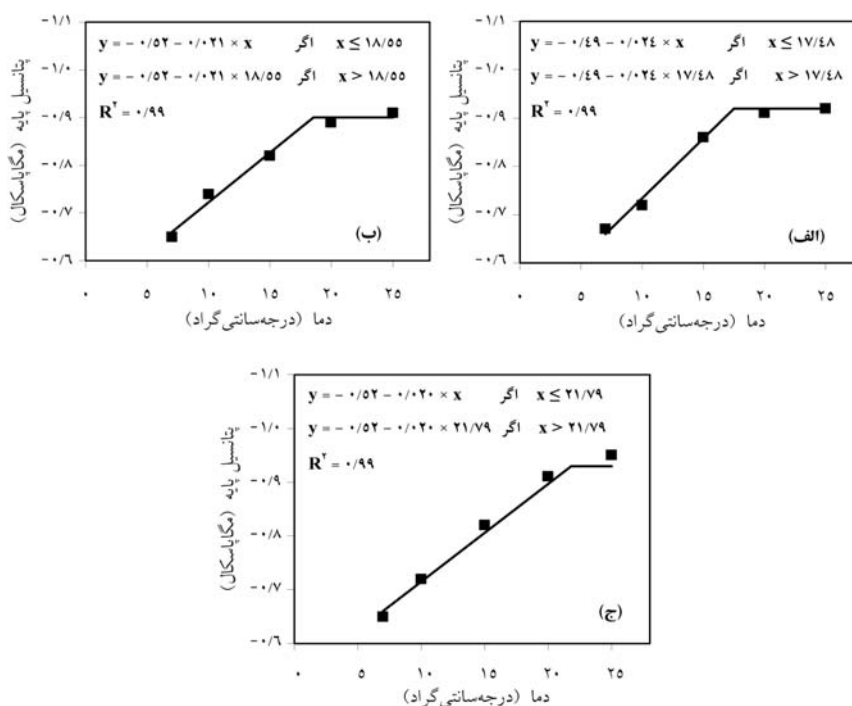
برای کمی سازی تغییرات پتانسیل پایه در دماهای مختلف از یک مدل رگرسیون دو تکه ای (رابطه ۴) استفاده شد. نتایج بیانگر آن است که در هر سه گیاه با افزایش دما از ۷ درجه سانتی گراد تا ۱۷/۴۸، ۱۸/۵۵ و ۲۱/۷۹ به ترتیب برای ارقام ویلیامز، دی پی ایکس و گیاه گاوپنبه مقدار پتانسیل پایه به طور خطی کاهش یافت (منفی تر شد) و پس از آن ثابت شد (شکل ۴). مطالعات زیادی نشان داد که پتانسیل آب پایه تحت تأثیر دما قرار می گیرد (فای فیلد و گری گوری، ۱۹۸۹؛ آلوارادو و برادفورد، ۲۰۰۲؛ رز و فینچ ساویج، ۲۰۰۳؛ لارسن و همکاران، ۲۰۰۴). کبراب و موردوچ (۱۹۹۹) در مورد گل جالیز گزارش کردند که میانگین پتانسیل پایه بذرها این گیاه به طور معنی داری تحت تأثیر دما قرار گرفت، به گونه ای که بین دمای ۲۳-۱۴ درجه سانتی گراد پتانسیل پایه این گیاه ۲- مگاپاسکال بود و در دماهای بالاتر و پایین تر از این محدوده مقدار آن افزایش یافت.

- 1- Hydrotime Model
- 2- Base Water Potential

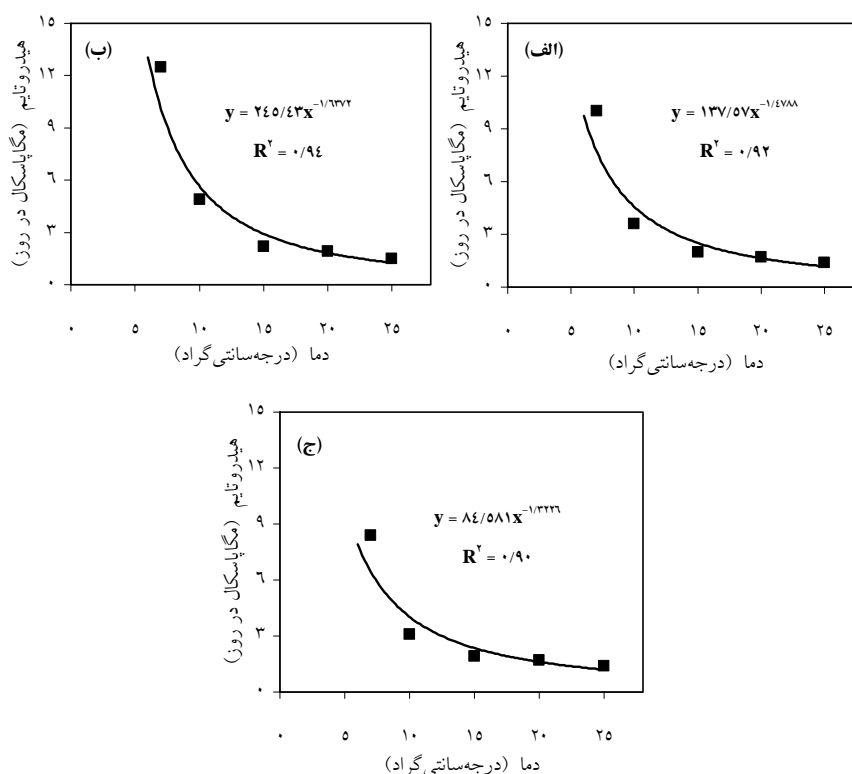
برای تعیین رابطه بین مقدار هیدروتایم (مگاپاسکال در روز) در مقابل دما از یک معادله توانی به شکل زیر استفاده شد:

$$y = ax^b \quad (5)$$

که در آن،  $y$ : مقدار هیدروتایم (مگاپاسکال در روز)،  $a$ : مقدار هیدروتایم زمانی که دما برابر ۱ درجه سانتی‌گراد است،  $x$ : دما (درجه سانتی‌گراد) و  $b$ : ضریب معادله می‌باشند. مقدار ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۰ نشان‌دهنده توصیف خوب این رابطه برای کمی‌سازی مقدار هیدروتایم در مقابل دما بود (شکل ۵). به‌طورکلی، در هر دو گونه با کاهش دما مقدار هیدروتایم به‌صورت نمایی افزایش یافت. نتایج بیانگر آن است که در دمای ۷ درجه سانتی‌گراد، مقدار هیدروتایم برای رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی در گاوپنبه نسبت به دو رقم سویا کم‌تر بود. یعنی در دماهای پایین، جوانه‌زنی در گیاه گاوپنبه به‌خاطر داشتن هیدروتایم کم‌تر نسبت به ارقام سویا زودتر رخ می‌دهد.



شکل ۴- برازش مدل رگرسیونی دو تکه‌ای برای توصیف تغییرات پتانسیل پایه در مقابل دما در ارقام سویا و گیاه گاوپنبه (رقم ویلیامز (الف); رقم دی‌پی‌ایکس (ب); گیاه گاوپنبه (ج)).



شکل ۵- برازش مدل رگرسیون غیرخطی توانی ( $y=ax^b$ ) برای توصیف تغییرات هیدروتایم تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی در مقابل دما در ارقام سویا و گیاه گاوپنبه (رقم ویلیامز (الف)؛ رقم دی‌پی‌ایکس (ب)؛ گیاه گاوپنبه (ج)).

پس از کمی‌سازی ترکیب اثر دما و رطوبت در این سه گیاه با مدل هیدروترمال‌تایم (رابطه ۳) نیز دمای پایه جوانه‌زنی برای گاوپنبه، ارقام ویلیامز و دی‌پی‌ایکس به ترتیب ۳/۹، ۴/۳ و ۵/۲ درجه سانتی‌گراد، پتانسیل پایه برای هر سه گیاه ۰/۹- مگاسپال و مقدار هیدروترمال‌تایم به ترتیب ۲۶/۷، ۲۶/۵ و ۲۷/۳ مگاسپال در درجه‌سانتی‌گراد در روز به دست آمد. مقادیر ضریب تبیین بالاتر از ۰/۹۴ نشان‌دهنده آن است که این مدل به خوبی توانسته سرعت جوانه‌زنی هر سه گیاه را در دماهای زیر مطلوب و در پتانسیل‌های آب مختلف توصیف کند. نتایج این مطالعه در تأیید نتایج برادفورد (۲۰۰۲) و لارسن و همکاران (۲۰۰۴) می‌باشد، زیرا ایشان بیان کردند که در دماهای زیر مطلوب مدل هیدروترمال‌تایم به خوبی می‌توانست واکنش جوانه‌زنی را در پتانسیل‌های آب مختلف توصیف کند.

جدول ۳- ضرایب ثابت هیدروترمال تایم<sup>۱</sup> (HTT)، پتانسیل پایه (P<sub>b</sub>) و دمای پایه (T<sub>b</sub>) در مدل هیدروترمال تایم (رابطه ۳) برای توصیف ترکیب اثر دما و پتانسیل آب بر سرعت جوانه‌زنی (R<sub>o</sub>) دو رقم سویا دی‌پی‌ایکس و ویلیامز و گیاه گاوپنبه. خطای استاندارد (SE)؛ جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب تبیین (R<sup>۲</sup>) هستند.

R <sup>۲</sup>	RMSE	T <sub>b</sub> ± SE (درجه سانتی‌گراد)	P <sub>b</sub> ± SE (مگاپاسکال)	HTT ± SE (مگاپاسکال در درجه سانتی‌گراد در روز)	گیاه
۰/۹۴	۰/۰۴۴	۵/۱۴ ± ۰/۸۳	-۰/۸۸ ± -۰/۰۴۰	۲۷/۳ ± ۲/۵۱	دی‌پی‌ایکس
۰/۹۶	۰/۰۳۸	۴/۳۴ ± ۰/۷۱	-۰/۸۹ ± -۰/۰۳۲	۲۶/۶ ± ۱/۹۷	ویلیامز
۰/۹۶	۰/۰۳۹	۳/۹۰ ± ۰/۷۷	-۰/۹۰ ± -۰/۰۳۴	۲۶/۷ ± ۲/۰۷	گاوپنبه

### نتیجه‌گیری

۱- دما و پتانسیل آب تأثیر معنی‌داری بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی دو رقم سویا و گاوپنبه داشت. با کاهش پتانسیل آب درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. همچنین، با افزایش دما تا دمای زیر مطلوب، درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت. اما درصد جوانه‌زنی نسبت به سرعت جوانه‌زنی حساسیت کم‌تری نسبت به تغییرات دما و پتانسیل آب داشت.

۲- دمای پایه و مقدار ترمال تایم تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذرها در هر دو رقم سویا و گاوپنبه تحت تأثیر پتانسیل آب قرار گرفت. در هر سه گیاه با کاهش پتانسیل آب، دمای پایه و مقدار ترمال تایم (درجه سانتی‌گراد در روز) تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی افزایش یافت، و در پتانسیل‌های پایین مقدار ترمال تایم در گاوپنبه از دو رقم سویا کم‌تر بود.

۳- پتانسیل آب پایه و مقدار هیدروتایم تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذرها در هر دو رقم سویا و گاوپنبه تحت تأثیر دما قرار گرفت. با کاهش دما از ۲۵ به ۷ درجه سانتی‌گراد پتانسیل پایه و هیدروتایم برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی در هر سه گیاه افزایش یافت، و در دماهای پایین مقدار هیدروتایم در گاوپنبه از دو رقم سویا کم‌تر بود.

۴- پس از کمی‌سازی ترکیب اثر دما و رطوبت در هر سه گیاه، دمای پایه جوانه‌زنی برای گاوپنبه، ارقام ویلیامز و دی‌پی‌ایکس به ترتیب ۳/۹، ۴/۳ و ۵/۲ درجه سانتی‌گراد، پتانسیل پایه برای هر سه گیاه ۰/۹- مگاپاسکال و مقدار هیدروترمال تایم به ترتیب ۲۶/۷، ۲۶/۵ و ۲۷/۳ (مگاپاسکال در درجه سانتی‌گراد در روز) محاسبه شد.

۵- با توجه به نتایج این مطالعه، گیاه گاوپنبه در شرایط تنش رطوبتی و دمایی مشابه قدرت رقابتی بالاتری نسبت به سویا داشت.

### 1- Hydrothermal Time



## منابع

1. Akram-Ghaderi, F. 2008. The study of seed quality development, germination, longevity and deterioration in some medicinal plants: medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo. Convar. var. styriaca*), cumin blank (*Nigella sativa* L.) and borago (*Borago officinalis* L.). Ph.D. Thesis, Gorgan. Univer. Agric. Sci. Natur. Resour. 180p. (In Persian)
2. Allen, P.S., Meyer, S.E. and Khan, M.A. 2000. Hydrothermal time as a tool in comparative germination studies, P 401-410. in Black, M., Bradford, K.J. and Vázquez-Ramos, J. (eds.), Seed Biology: Advan. Applica. Wallingford, CAB International.
3. Alvarado, V. and Bradford, K.J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. Plant Cell Environ. 25: 1061-1069.
4. Anda, A. and Pinter, L. 1994. Sorghum germination and development at influenced by soil temperature and water content. Agron. J. 86: 621-624.
5. Balbaki, R.Z., Zurayk, R.A., Bleik, 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.
6. Baskin, C.C. and Baskin, J.M. 2001. Seeds: ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination. Academic Press, San Diego, California, 666p.
7. Blumenthal, M.J., Aston, S.C. and Pearson, C.J. 1996. Effect of temperature and moisture potential on germination and emergence in Lotus sp. Aust. J. Agric. Res. 47: 1119-1130.
8. Bradford, K.J. 1990. A water relation analysis of seed germination rates. Plant Physiol. 94: 840-849.
9. Bradford, K.J. 1997. The hydrotime concept in seed germination and dormancy, P 349-360. in Ellis, R.H., Black, M., Murdoch, A.J. and Hong, T.D. (eds.), Basic. Applied Aspect. Seed Biology: Boston, Kluwer Academic Publishers.
10. Bradford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Sci. 50: 248-260.
11. Bradford, K.J. and Still, D.W. 2004. Applications of hydrotime analysis in seed testing. Seed Technol. 26: 74-85.
12. Ellis, R.H. and Butcher, P.D. 1988. The effects of priming and 'natural' differences in quality amongst onion seed lots on the response of the rate of germination to temperature and the identification of the characteristics under genotypic control. J. Exp. Bot. 39: 935-950.
13. Foley, M.E. and Fennimore, S.A. 1998. Genetic basis for seed dormancy. Seed Sci. Res. 8: 173-179.
14. Fyfield, T.P. and Gregory, P.J. 1989. Effects of temperature and water potential on germination, radicle elongation and emergence of mungbean. J. Exp. Bot. 40: 667-674.

15. 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.
16. Gummerson, R.J. 1986. The effect of constant temperature and osmotic potential on the germination of sugar beet. *J. Exp. Bot.* 37: 729-714.
17. Guerke, W.R., Gutormson, T., Meyer, D., McDonald, M., Mesa, D., Robinson, J.C. and Tekrony, D. 2004. Application of hydrotime analysis in seed testing. *Seed Technol.* 26: 75-85.
18. Hucl, P. 1993. Effect of temperature and moisture stress on the germination of diverse common bean genotypes. *Can. J. Plant. Sci.* 73: 697-702.
19. Jacobsen, S.E. and Bach, A.P. 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild). *Seed Sci. Technol.* 26: 515-523.
20. Kebreab, E. and Murdoch, A.J. 1999. A model of effects of a wider range of constant and alternating temperatures on seed germination of four *Orobanches* species. *Ann. Bot.* 84: 549-557.
21. 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.
22. Larsen, S.U., Bailly, C., Côme, D. and Corbineau, F. 2004. Use of the hydrothermal time model to analysis interacting effects of water and temperature on germination of three grass species. *Seed Sci. Res.* 14: 35-50.
23. Livingston, N.J. and De Jong, E. 1990. Matric and osmotic potential effects on seedling emergence at different temperature. *Agron. J.* 82: 995-998.
24. Meyer, S.E. and Pendleton, R.L. 2000. Genetic regulation of seed dormancy in *Purshia tridentate* (*Rosaceae*). *Ann. Bot.* 85: 521-529.
25. Michel, B.E. and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiol.* 72: 66-70.
26. Ovell, S., Ellis, R.H., Roberts, E.H. and Summerfield, R.J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. *J. Exp. Bot.* 37: 705-715.
27. Qiu, J., Bai, Y., Coulman, B. and Romo, J.T. 2006. Using thermal time models to predict seedling emergence of orchardgrass (*Dactylis glomerata* L.) under alternating temperature regimes. *Seed Sci. Res.* 16: 261-271.
28. 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.
29. Soltani, A. 2007. Application of SAS in Statistical Analysis. JMD Press, Iran, 182p. (In Persian)
30. Soltani, A. and Maddah, V. 2010. Simple applied programs for education and research in agronomy. ISSA Press, Iran, 80p. (In Persian)

31. Soltani, E., Akram-Ghaderi, F. and Soltani, A. 2008. Applications of germination modeling on the response to temperature and water potential in seed science research. 1<sup>st</sup> National Conference of Seed Sciences and Technology in Iran. Gorgan, Iran. (In Persian)
32. Springer, T.L. 2005. Germination and early seedling growth of chaffy-seeded grasses at negative water potentials. *Crop Sci.* 45: 2075-2080.
33. Thygerson, T., Harris, J.M., Smith, B.N., Hansen, L.D., Pendleton, R.L. and Booth, D.T. 2002. Metabolic response to temperature for six populations of winterfat (*Eurotia lanata*). *Thermochimica Acta.* 394: 211-217.
34. Wang, R., Bai, Y. and Tanino, K. 2005. Germination of interfat seeds at reduced water potential: testing assumptions of hydrothermal time model. *Environ. Exp. Bot.* 53: 49-63.
35. Windauer, L., Altuna, A. and Benech-Arnold, R. 2007. Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Indust Crops. Product.* 25: 70-74.



## **Modelling the effects water stress and temperature on seed germination of Soybean (*Glycine max* L.) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti* med.)**

**\*E. Bakhshandeh<sup>1</sup>, R. Ghadiryan<sup>1</sup>, S. Galeshi<sup>2</sup> and E. Soltani<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc. Student, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>2</sup>Professor, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Ph.D. Student, Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 2010/10/25; Accepted: 2011/06/07

### **Abstract**

Water and temperature are determinant factors for seed germination. Both factors can, separately or jointly, affect the germination percentage and germination rate. The effect of temperature on germination and water potential on germination can often be described by the thermal time and hydrotime models, respectively. Additionally, the thermal time model and the hydrotime model have been combined into a hydrothermal time model to describe the combined effect of water and temperature on germination. The objective of this study was investigation interaction effect of five levels of temperature (7, 10, 15, 20 and 25 °C) and five drought stress levels (0, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa, by PEG-6000) on the germination of the Velvetleaf plant (*Abutilon theophrasti* med.) and two soybean cultivars (DPX and Williams) seeds. This experiment was done in during 2010 in the seed research laboratory of Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. Results indicated that the base temperature and the thermal time to 50% of germination (°Cday<sup>-1</sup>) in each three plants increase significantly with decrease in water potential. Also, in low water potentials thermal time in the Velvetleaf was lower than two soybean cultivars. The base water potential (from -0.9 to -0.6 MPa) and hydrotime to 50% of germination (from 1.4 to 10 MPaday<sup>-1</sup>), in each three plants increase significantly with decrease in temperature from 25 to 7 °C. Generally, in low temperatures of amount hydrotime in the Velvetleaf was lower than two soybean cultivars. After fitted the hydrothermal time model the base temperature, the hydrothermal time constant and the base water potential for germination of the Velvetleaf, DPX and Williams were 3.9, 4.3 and 5.2 °C, 26.7, 26.5 and 27.3 MPa°Cday<sup>-1</sup> and -0.9 MPa for each three plants, respectively. Results this study indicated that Velvetleaf plant in conditions of drought stress and temperatures similar had higher competition power than soybean cultivars studied.

**Keywords:** Germination rate, Thermal time, Hydrotime, Hydrothermal time, Modeling

---

\* Corresponding Author; Email: [bakhshandehesmail@yahoo.com](mailto:bakhshandehesmail@yahoo.com)