



نشریه تولید گیاهان زراعی  
جلد ششم، شماره چهارم، زمستان ۹۲  
۱۱۷-۱۳۵  
<http://ejcp.gau.ac.ir>



## کمی سازی واکنش جوانه زنی گندم در واکنش به دما و پتانسیل آب

مهین نوزری نژاد<sup>۱</sup>، \*ابراهیم زینلی<sup>۲</sup>، افشین سلطانی<sup>۲</sup>، الیاس سلطانی<sup>۳</sup>  
و بهنام کامکار<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، <sup>۲</sup> به ترتیب استادیار، استاد و دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، <sup>۳</sup> استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران  
تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۸/۲۸

### چکیده

برای کمی سازی واکنش سرعت جوانه زنی به دما در تعیین دماهای کاردینال انتخاب مدل مناسب بسیار مهم است. پژوهش حاضر به منظور ارزیابی مدل های رگرسیونی غیرخطی برای توصیف سرعت جوانه زنی گندم (رقم مروارید) به دما و پتانسیل آب صورت گرفت. بدین منظور سرعت جوانه زنی بذور در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۷ درجه سانتی گراد و پتانسیل های رطوبتی صفر، -۰/۲، -۰/۴، -۰/۶ و -۰/۸ مگاپاسکال اندازه گیری شد. برای توصیف سرعت جوانه زنی در مقابل دما و پتانسیل آب مدل های دندان مانند، دو تکه ای، بتا (اصلی)، بتا (تغییریافته) ارزیابی شدند. نتایج نشان داد مدل دندان مانند نسبت به مدل های دیگر واکنش سرعت جوانه زنی به دما و پتانسیل آب را بهتر توصیف می کند. دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و دمای سقف برای جوانه زنی گندم در شرایط عدم تنش به ترتیب ۱/۵، ۲۳/۸، ۳۳/۰ و ۴۱/۰ درجه سانتی گراد بدست آمدند. به جز دمای پایه برای جوانه زنی، سایر دماهای کاردینال تحت تأثیر پتانسیل آب تغییر معنی داری نداشتند. ساعت بیولوژیک برای جوانه زنی نیز در پتانسیل های مختلف آب بین حدود ۳۴ تا ۵۱ ساعت بود. ساعت بیولوژیک به ازای هر واحد افزایش پتانسیل آب (مگاپاسکال) حدود ۲۰ ساعت کاهش یافت. از این پارامترها و روابط به دست آمده می توان برای پیش بینی زمان تا جوانه زنی و یا سبز شدن گندم در شرایط نرمال و دامنه وسیعی از تنش خشکی استفاده نمود.

واژه های کلیدی: پتانسیل آب، جوانه زنی، دما، گندم، مدل های رگرسیونی غیرخطی

\*مسئول مکاتبه: [ezstudents11@yahoo.com](mailto:ezstudents11@yahoo.com)

## مقدمه

جوانه‌زنی یکی از مراحل مهم و حساس در چرخه زندگی گیاه (دویلرس و همکاران، ۱۹۹۴؛ یونگار، ۱۹۷۸) و یک فرآیند کلیدی در سبز شدن گیاهچه است (فورسلا و همکاران، ۲۰۰۰). جوانه‌زنی بذر در شرایط رطوبت مناسب به‌شدت به دما وابسته است. زمان رسیدن به درصد‌های مختلف جوانه‌زنی شاخصی است که به‌شدت تحت تأثیر شرایط حاکم بر جوانه‌زنی و به‌ویژه دما قرار می‌گیرد (آلواردو، ۲۰۰۰). 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 به ترتیب در دماهای پایین‌تر و بالاتر از آنها، جوانه‌زنی متوقف می‌شود و دمای مطلوب، دمایی است که در آن جوانه‌زنی در کوتاه‌ترین زمان ممکن اتفاق می‌افتد، یعنی سرعت جوانه‌زنی در حداکثر است (آلواردو و برادفورد، ۲۰۰۲).

به‌طور معمول، بین سرعت جوانه‌زنی (عکس زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد از جوانه‌زنی نهایی) و دما (تا دمای مطلوب) رابطه خطی مثبت وجود دارد. مطالعات انجام شده در زمینه گیاهان زراعی مختلف نشان داده است که در دماهای بالاتر از دمای مطلوب، سرعت جوانه‌زنی به‌صورت خطی و معمولاً با شیبی بیشتر در مقایسه با شیب خط رگرسیون دماهای کمتر از مطلوب، کاهش می‌یابد (جام و کاتفورث، ۲۰۰۴؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸). به‌طور کلی، دماهای کاردینال جوانه‌زنی، به دامنه سازگاری محیطی گونه گیاهی بستگی دارد و تطابق زمان جوانه‌زنی با شرایط مطلوب برای مراحل بعدی رشد و نمو گیاهچه را تضمین می‌نماید (آلواردو و برادفورد، ۲۰۰۲). بذور در دامنه وسیعی از دماها جوانه می‌زنند، اما حداکثر جوانه‌زنی آنها، در آستانه‌های این دامنه به‌طور چشمگیری کاهش نشان می‌دهد. دامنه دمایی که مقدار جوانه‌زنی در آن حداکثر است با توجه به نوع گونه‌ها و کیفیت بذر تغییر می‌کند (الیس و همکاران، ۱۹۸۶). عوامل محیطی تنظیم‌کننده جوانه‌زنی برای بذرها بدون کمون دما، آب و اکسیژن می‌باشند و برای بذرها دارای کمون، علاوه بر این عوامل، به نور و محیط‌های شیمیایی نیز برای جوانه‌زنی نیاز می‌باشد (بیولی و بلاک، ۱۹۹۴؛ باسکین و باسکین، ۲۰۰۱). برای بذرها بدون کمون، زمانی که تهویه مناسب باشد، دما و رطوبت دارای اهمیت بیشتری هستند (برادفورد، ۱۹۹۰؛ ۲۰۰۲). دما و رطوبت می‌توانند با هم یا به‌طور جداگانه بر درصد و سرعت جوانه‌زنی اثر بگذارند (بلومبرگ و همکاران، ۲۰۰۹). در صورتی که رطوبت و اکسیژن در حد کفایت فراهم باشند، ویژگی‌های جوانه‌زنی توده بذرها غیر راکد مانند

سرعت، یکنواختی و درصد جوانه‌زنی توسط دما تعیین می‌شود (گارسیا هوئیدوبرو و همکاران، ۱۹۸۲؛ رامین، ۱۹۹۷). به‌طور معمول، سرعت جوانه‌زنی به‌طور خطی با قابلیت دسترسی به آب افزایش می‌یابد (گومرسون، ۱۹۸۶؛ گریک و همکاران، ۲۰۰۴). در مورد اثرات تنش خشکی بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه در گیاهان مختلف گزارش‌هایی وجود دارد (هاکل، ۱۹۹۳؛ بالباکی و همکاران، ۱۹۹۹؛ روزالایند و همکاران، ۱۹۹۴) و مطالعات حاکی از آن است که کاهش پتانسیل آب منجر به کاهش درصد، سرعت و یکنواختی جوانه‌زنی می‌شود.

واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن بذور به دما و شناخت دماهای کاردینال (پایه، مطلوب و سقف) برای تهیه مدل‌های پیش‌بینی‌کننده جوانه‌زنی و سبز شدن، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، غربال کردن گونه‌ها و ژنوتیپ‌ها برای تحمل به دماهای پایین یا بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه‌ها یا ژنوتیپ‌ها بتوانند با موفقیت جوانه بزنند و استقرار یابند، بررسی می‌شود (ماول و همکاران، ۱۹۹۴؛ رامین، ۱۹۹۷؛ جاکوپسن و باج، ۱۹۹۸). انواع مختلفی از مدل‌های ریاضی برای شرح رابطه بین سرعت جوانه‌زنی بذر گیاهان و دما استفاده شده است (شفیعی و پرایس، ۲۰۰۱؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶). امتیاز این توابع این است که پارامترهای آنها دارای مفهوم بیولوژیکی مانند دماهای کاردینال و سرعت ذاتی جوانه‌زنی و سبز شدن هستند. بنابراین، برخی از محققین از این مدل‌ها برای به دست آوردن دماهای کاردینال یعنی دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف استفاده کرده‌اند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ جام و کاتفورس، ۲۰۰۴؛ هاردی‌گری، ۲۰۰۶؛ جامی‌الاحمدی و کافی، ۲۰۰۷). در مورد کمی‌سازی جوانه‌زنی در مقابل دما می‌توان به مثال‌های زیادی اشاره نمود که از جمله آنها: ماول و همکاران (۱۹۹۴) در آفتاب‌گردان، رامین (۱۹۹۷) در تره ایرانی، الیس و همکاران (۱۹۸۶) در نخود، قادری‌فر و همکاران (۲۰۰۱) در شبدر زیرزمینی قابل ذکر هستند. سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) توابع مختلفی برای کمی‌سازی این رابطه به‌کار رفته است که از جمله آنها می‌توان به توابع بتا، دوتکه‌ای، دندان‌مانند، درجه دوم و تابع منحنی اشاره نمود (جیم و کاتفورد، ۲۰۰۴ و یوسفی‌داز و همکاران، ۲۰۰۶). این محققان با استفاده از این مدل‌ها، دماهای کاردینال جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهان مورد نظر را برآورد کردند. توابع دمایی مختلفی برای واکنش جوانه‌زنی به دما وجود دارند. توابع بتا، دندان‌مانند و دوتکه‌ای سه تابع دمایی پرکاربرد برای توصیف واکنش جوانه‌زنی بذر گیاهان به دما هستند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸؛ اکرم قادری و همکاران، ۲۰۰۸). تاکنون مطالعات متعددی در زمینه تعیین دماهای کاردینال، برای جوانه‌زنی و زمان حرارتی مورد نیاز برای سبز شدن تحت تأثیر دما انجام شده است، اما اطلاعات کمی در خصوص

اثر متقابل دما و پتانسیل آب (خشکی) در مورد ارقام مورد کشت در ایران اندک است. بنابراین، این تحقیق برای ارزیابی مدل‌های مختلف رگرسیونی برای کمی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما در پتانسیل‌های مختلف آب صورت گرفت.

### مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۹۱ در آزمایشگاه تحقیقات بذر گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به صورت تجزیه مرکب در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۴ تکرار ۵۰ بذری از بذر گندم (رقم مروارید) با تیمارهای دمایی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد در ترکیب با پتانسیل‌های آب صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و -۰/۸ مگاپاسکال انجام شد. تیمار دمایی توسط انکوباتور با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد تأمین گردید. پتانسیل‌های آب بر اساس فرمول میچل (۱۹۸۳) با استفاده از پلی اتیلن گلایکول ۸۰۰۰ (PEG8000) تنظیم و برای شاهد از آب مقطر استفاده شد. ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش کاغذ صافی‌ها در محلول‌های تهیه شده برای پتانسیل‌های مختلف قرار داده شدند. پتری‌دیش‌ها برای ضدعفونی به مدت ۲۴ ساعت در داخل آون با دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. کف پتری‌دیش‌ها با یک عدد کاغذ صافی واتمن شماره ۱۴ پوشیده شد و روی بذور هم یک عدد کاغذ صافی دیگر قرار داده شد. شمارش بذره‌های جوانه‌زده هر روز ۳ بار صورت گرفت و معیار بذر جوانه‌زده خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود (ایستا، ۲۰۰۹). 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. این برنامه زمان لازم برای رسیدن به ۱۰ (D<sub>10</sub>)، ۵۰ (D<sub>50</sub>) و ۹۰ (D<sub>90</sub>) درصد حداکثر جوانه‌زنی را محاسبه می‌کند. این برنامه این پارامترها را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درونیابی خطی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از طریق فرمول زیر محاسبه شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۱، ۲۰۰۲).

$$R_{50}=1/D_{50}$$

معادله (۱)

در این رابطه، R<sub>50</sub> سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) را نشان می‌دهد.

برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال از مدل زیر استفاده شد (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۸):

$$R_{50} = f(T) R_{\max} \quad \text{معادله (۲)}$$

در این رابطه  $f(T)$  تابع دما است که از صفر در دمای پایه و سقف تا ۱ در دمای مطلوب تغییر می‌کند و  $R_{\max}$  حداکثر سرعت ذاتی جوانه‌زنی در دمای مطلوب است. بنابراین،  $1/R_{\max}$  حداقل ساعت تا جوانه‌زنی را در دمای مطلوب نشان می‌دهد که همان تعداد ساعت بیولوژیک مورد نیاز برای جوانه‌زنی می‌باشد.

برای بررسی واکنش جوانه‌زنی بذرها به دما در پتانسیل‌های مختلف تابع دمایی دندان‌مانند، دو تکه‌ای، بتا (اصلی) و بتا (تغییر یافته) آزمون شدند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶).

۱- معادله تابع دندان‌مانند با علامت اختصاری (D) به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} f(T) &= ((T-T_b)/(T_{O_1}-T_b)) & \text{if } T_b < T \leq T_{O_1} \\ f(T) &= ((T_c-T)/(T_c-T_{O_2})) & \text{if } T_{O_2} < T \leq T_c \\ f(T) &= 1 & \text{if } T_{O_1} < T \leq T_{O_2} \\ f(T) &= 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{aligned} \quad \text{معادله (۳)}$$

۲- معادله تابع دوتکه‌ای با علامت اختصاری (S) به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} f(T) &= (T - T_b) / (T_o - T_b) & \text{if } T_b < T \leq T_o \\ f(T) &= (T_c - T) / (T_c - T_o) & \text{if } T_o < T < T_c \\ f(T) &= 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{aligned} \quad \text{معادله (۴)}$$

۳- معادله تابع بتا (اصلی) با علامت اختصاری (B) به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} f(T) &= \left\{ \left[ \frac{T-T_b}{T_o-T_b} \right] \left[ \frac{T_c-T}{T_c-T_o} \right] \right\}^{\alpha} & \text{if } T > T_b \text{ and } T < T_c \\ f(T) &= 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{aligned} \quad \text{معادله (۵)}$$

۴- معادله تابع بتا (تغییر یافته) با علامت اختصاری (B) به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} f(T) &= (((T_c-T)/(T_c-T_p)) * ((T-T_b)/(T_p-T_b)) * ((T_p-T_b)/(T_c-T_p))) & \text{معادله (۶)} \\ \text{if } T_b &= 0, T_c = 40 \end{aligned}$$

در این روابط  $T$  دمای متوسط روزانه (دمای آزمایش)،  $T_b$  دمای پایه،  $T_{O1}$  دمای مطلوب تحتانی،  $T_{O2}$  دمای مطلوب فوقانی،  $T_c$  دمای سقف بر حسب درجه سانتی‌گراد و  $\alpha$  پارامتر شکل برای تابع بتا است که انحنا را تعیین می‌کند.

تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب سازی تکراری به کمک رویه  $nlin$  در نرم‌افزار SAS صورت گرفت (سلطانی، ۲۰۰۷). در روش مطلوب‌سازی تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن‌ها با روش کمترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود.

همچنین، برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از معیارهای زیر استفاده شد:

۱-  $RMSE$  (جذر میانگین مربعات خطا).

۲- ضریب تبیین رگرسیون بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده، با استفاده از رابطه  $V$  محاسبه شد.

$$R^2 = 1 - SSE/SSG \quad \text{معادله (۷)}$$

که در آن  $SSE$  و  $SSG$  به ترتیب مجموع خطا و مجموع مربعات کل هستند.

۳- ضریب همبستگی خطی بین روز تا جوانه‌زنی مشاهده شده با جوانه‌زنی پیش‌بینی شده. هر چه مقدار آن بیشتر باشد نشان دهنده این است که مدل پیش‌بینی دقیق‌تری دارد.

۴- استفاده از ضرایب رگرسیون خطی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده به این ترتیب که: معنی‌دار بودن هر یک از ضرایب  $a$  یا  $b$  در رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده حاکی از بالا بودن خطای مدل در پیش‌بینی آن است. هر چه نقاط به خط  $1:1$  در رگرسیون گفته شده نزدیک‌تر باشند حاکی از کارایی بالاتر مدل می‌باشد. ضریب  $a$  معنی‌دار به این معناست که عرض از مبدأ خط رگرسیون با عرض از مبدأ خط  $1:1$  مطابقت ندارد. ضریب  $b$  معنی‌دار به این معناست که شیب خط رگرسیون با خط  $1:1$  مطابقت ندارد و خط رگرسیون نسبت به خط  $1:1$  دارای اریب معنی‌دار می‌باشد. لازم به ذکر است برای تعیین معنی‌دار بودن ضریب، از حاصلضرب  $t$  جدول و مقدار اشتباه استاندارد استفاده می‌شود.

## نتایج و بحث

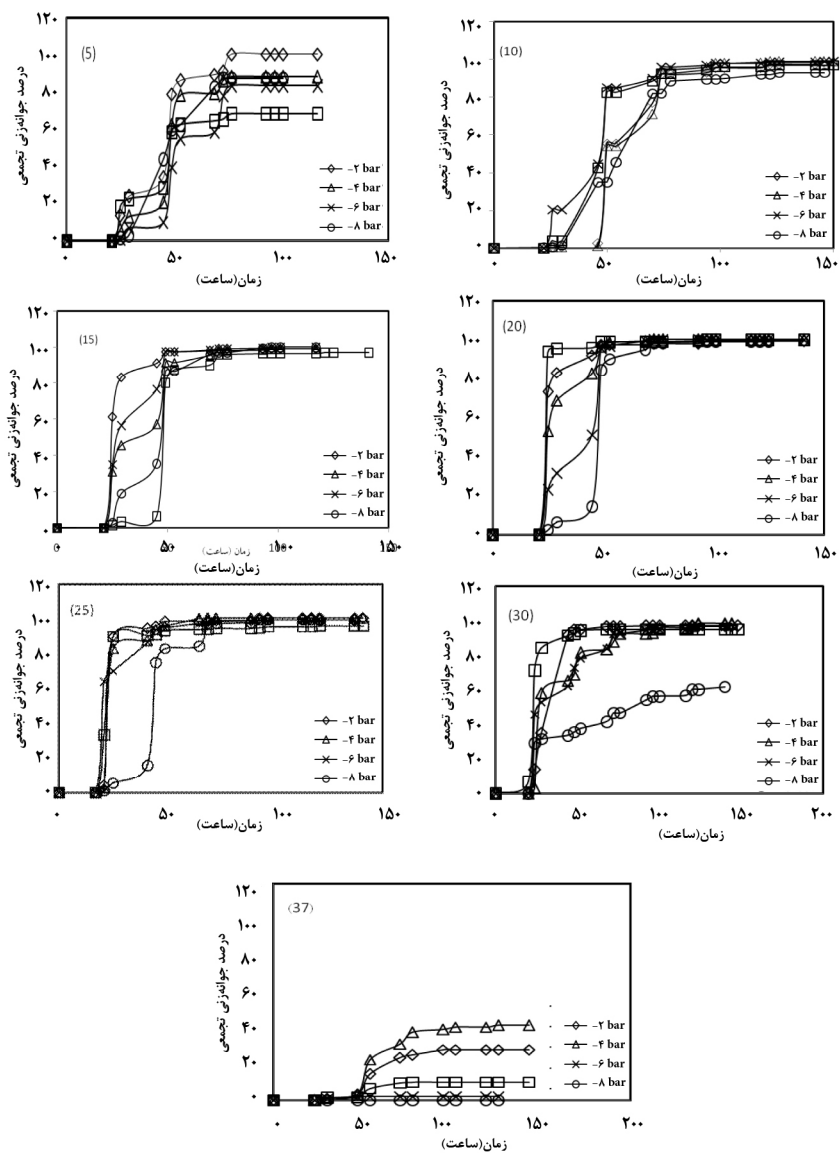
نتایج تجزیه واریانس آزمایش نشان داد اثر دما و پتانسیل آب و اثر متقابل این دو بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور معنی‌دار بود (جدول ۱). به‌طورکلی جوانه‌زنی تجمعی بذور با کاهش پتانسیل آب کاهش پیدا کرد و در دماهای پایین جوانه‌زنی بذور دیرتر آغاز و دیرتر به پایان رسید. افزایش دما

تا ۳۷ درجه سانتی‌گراد نیز اثر مشابه‌ای داشت و بذور دیرتر جوانه‌زنی خود را آغاز و به پایان رساندند (شکل ۱). کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذور در دماها و پتانسیل‌های مختلف با کمک مدل‌های یاد شده به‌خوبی صورت گرفت. مدل‌های برازش داده شده (دندان مانند، دوتکه‌ای، بتا اصلی و بتا تغییر یافته) برای هر پتانسیل آب به‌صورت جداگانه در شکل (۲) آورده شده است. مقادیر RMSE (جذر میانگین مربعات خطا)،  $R^2$  ضریب تبیین، (b و a) ضرایب رگرسیون و (r) ضریب همبستگی مربوط به مقادیر ساعت تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده هر مدل در پتانسیل‌های مختلف آب در جدول (۲) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود کمترین مقادیر RMSE برای مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا اصلی و بتا تغییر یافته به‌ترتیب ۰/۵۸، ۰/۴۹، ۰/۸۳ و ۰/۷۴ بود. ضریب  $R^2$  نیز برای همه سطوح خشکی در مدل دندان مانند ۰/۹۸ بود. در حالی که برای مدل‌های بتا اصلی و تغییر یافته بین ۰/۹۷ تا ۰/۹۸ و برای مدل دوتکه‌ای بین ۰/۹۷ تا ۰/۹۹ بود.

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس (مقادیر F) برای سرعت جوانه‌زنی (برای ۵۰ درصد جمعیت،  $R_{50}$ ) و حداکثر جوانه‌زنی (Gmax).

مقدار F		درجه آزادی	منابع تغییر
Gmax	$R_{50}$		
۶۸۹۶/۶**	۴۰۹۲/۲**	۶	دما
۱/۴ <sup>ns</sup>	۰/۹ <sup>ns</sup>	۲۱	تکرار (دما)
۲۶۹/۶**	۴۱۱/۲**	۴	پتانسیل آب
۱۰۵/۱**	۷۲/۹**	۲۴	دما* پتانسیل آب

\*\* معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۱ درصد؛ ns غیر معنی‌دار



شکل ۱- روند جواز زنی تجمعی در مقابل زمان در پتانسیل های آب مختلف (۰، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۰/۸) مگاپاسکال) و تحت تیمارهای دمایی مختلف. هر شکل مربوط به یک تیمار دمایی است که دمای تیمار، داخل پرانتز در شکل نشان داده شده است.

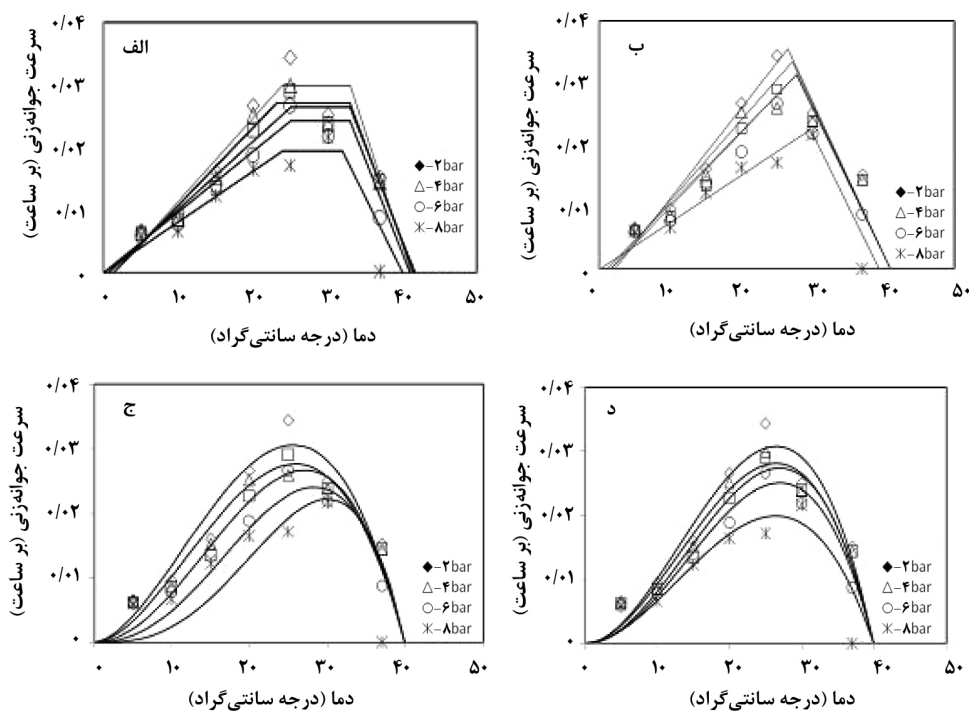


مهین نوذری نژاد و همکاران

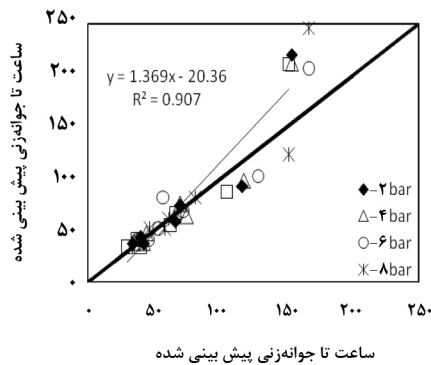
جدول ۲- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، و ضریب تبیین ( $R^2$ ) برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت جوانه‌زنی با دما و پتانسیل آب. ضرایب رگرسیونی (a و b) و ضریب همبستگی (r) مربوط به مقادیر ساعت تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده نیز برآورد شده است.

$R^2$	b±SE	a±SE	$R^2$	RMSE	پتانسیل آب (مگاپاسکال)
دندان مانند					
۰/۹۵	۱/۴ ± ۰/۱۹	-۲۰/۴ ± ۱۵/۸۰	۰/۹۸	۰/۹۵	۰
۰/۹۳	۱/۳ ± ۰/۲۳	-۲۰/۰ ± ۱۹/۹۴	۰/۹۸	۰/۷۳	-۰/۲
۰/۹۴	۱/۳ ± ۰/۲۱	-۱۷/۹ ± ۱۸/۴۲	۰/۹۸	۰/۶۵	-۰/۴
۰/۹۳	۱/۱ ± ۰/۱۸	-۴/۷ ± ۱۷/۳۶	۰/۹۸	۰/۷۵	-۰/۶
۰/۸۹	۱/۳ ± ۰/۳۲	-۲۰/۲ ± ۲۳/۸۰	۰/۹۸	۰/۵۸	-۰/۸
بتا (اصلی)					
۰/۹۰	۲/۹ ± ۰/۶۰*	-۹۶/۱ ± ۴۸/۸۶	۰/۹۸	۰/۹۲	۰
۰/۸۹	۲/۴ ± ۰/۵۵	-۷۵/۲ ± ۴۷/۳۳	۰/۹۸	۰/۷۲	-۰/۲
۰/۸۸	۰/۵ ± ۰/۵۲	-۶۱/۴ ± ۴۷/۷۹	۰/۹۸	۰/۷۲	-۰/۴
۰/۹۲	۱/۷ ± ۰/۳۲	-۴۳/۱ ± ۳۰/۲۳	۰/۹۸	۰/۷۱	-۰/۶
۰/۸۷	۱/۳ ± ۰/۳۷	-۲۸/۸۶ ± ۳۹/۵۵	۰/۹۷	۰/۸۳	-۰/۸
بتا (تغییر یافته)					
۰/۹۲	۲/۲ ± ۰/۴۱**	-۶۱/۶۰ ± ۳۳/۳۲	۰/۹۸	۰/۹۳	۰
۰/۸۹	۲/۳ ± ۰/۵۰**	-۶۸/۰ ± ۴۳/۲۹	۰/۹۸	۰/۷۵	-۰/۲
۰/۸۹	۲/۸ ± ۰/۶۳**	-۱۰۱/۲ ± ۵۶/۱۳	۰/۹۸	۰/۷۴	-۰/۴
۰/۸۲	۲/۸ ± ۰/۶۶**	-۱۰۴/۹ ± ۶۱/۵۴	۰/۹۷	۰/۷۷	-۰/۶
۰/۸۲	۲/۷ ± ۰/۹۵	-۱۱۱/۷ ± ۹۹/۹۳	۰/۹۷	۰/۹۲	-۰/۸
دوتکه‌ای					
۰/۹۲	۱/۶ ± ۰/۲۸	-۲۵/۷ ± ۲۲/۷۷	۰/۹۸	۰/۹۱	۰
۰/۹۱	۱/۴ ± ۰/۲۷	-۱۶/۸ ± ۲۳/۳۲	۰/۹۸	۰/۸۴	-۰/۲
۰/۹۰	۱/۵ ± ۰/۳۱	-۲۵/۹ ± ۲۷/۲۵	۰/۹۸	۰/۸۴	-۰/۴
۰/۸۸	۱/۳ ± ۰/۳۱	-۷/۷ ± ۲۸/۴۵	۰/۹۷	۰/۹۸	-۰/۶
۰/۹۰	۱/۴ ± ۰/۳۴	-۲۷/۴ ± ۳۵/۸۷	۰/۹۹	۰/۴۹	-۰/۸

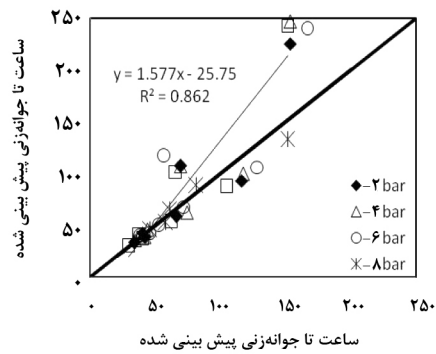
نتایج نشان داد که ضریب  $b$  در مدل بتا (تغییر یافته) در اکثر پتانسیل‌های آب و در مدل بتا (اصلی) در پتانسیل آب صفر معنی‌دار بود. ضریب همبستگی برای مدل دندان‌مانند بین  $0/89$  تا  $0/95$  تغییر داشت. این دامنه برای سه تابع دوتکه‌ای بتا اصلی و تغییر یافته به ترتیب  $0/88$  تا  $0/92$ ،  $0/87$  تا  $0/90$  و  $0/82$  تا  $0/92$  بود. با توجه به معنی‌دار بودن ضرایب  $b$  در چند پتانسیل آب که در توابع بتا مشاهده شد، این دو تابع دقت کمتری در توصیف رابطه سرعت جوانه‌زنی با دما داشته‌اند. همچنین در مدل دوتکه‌ای پراکندگی نقاط در اطراف خط ۱:۱ بیشتر از مدل دندان‌مانند بوده است (جدول ۲؛ شکل ۳). بنابراین، مشاهدات حاکی از دقت کمتر این مدل‌ها نسبت به مدل دندان‌مانند در پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی در واکنش به دما می‌باشند. در نهایت با توجه به برتری پارامترهای مورد ارزیابی ذکر شده، مدل دندان‌مانند به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد.



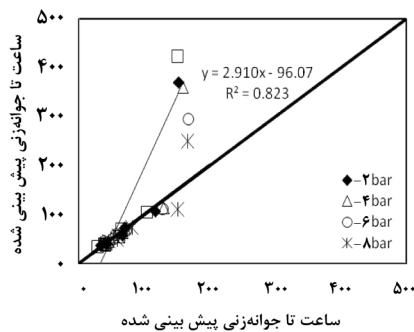
شکل ۲- رابطه سرعت جوانه‌زنی توصیف شده تحت دما (درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل‌های مختلف آب (مگاپاسکال) با مدل‌های مختلف. مدل‌های عبارتند از دندان‌مانند (الف)، دوتکه‌ای (ب)، بتا اصلی (ج) و بتا تغییر یافته (د).



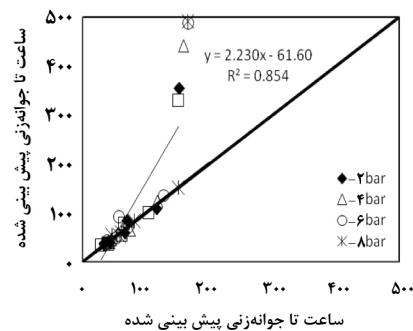
الف



ب



ج



د

شکل ۳- مقادیر ساعت تا جوانه‌زنی پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر مشاهده شده در پتانسیل‌های مختلف آب (مگاپاسکال) با مدل‌های مختلف. مدل‌های عبارتند از دندان مانند (الف)، دو تکه‌ای (ب)، بتا اصلی (ج) و بتا تغییر یافته (د).

برخی محققان برای کمی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی و تعیین دماهای کاردینال مربوط از دو معادله رگرسیونی خطی (مشابه دو تکه‌ای نه دقیقاً مثل آن) استفاده کرده‌اند. در این روش محل تلاقی دو خط رگرسیون به عنوان دمای مطلوب و محل تلاقی هر یک از خطوط رگرسیون با محور X دمای پایه و سقف در نظر گرفته می‌شود. کوول و همکاران (۱۹۸۶) برای کمی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی نخود، لوبیا و سویا از روش ذکر شده استفاده کردند. محققان دیگری نیز از مدل‌های رگرسیونی غیر خطی در پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهان

زراعی استفاده کرده‌اند (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶؛ جام و کاتفورث، ۲۰۰۴؛ نلیور، ۲۰۰۷). سلطانی و همکاران (۲۰۰۶) از مدل‌های بتا، دو تکه‌ای و دندان‌مانند برای مدل‌سازی سبز شدن گیاه نخود در دماها و عمق‌های مختلف استفاده کردند و مدل دندان‌مانند را به‌عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سبز شدن این گیاه در دماها و عمق‌های مختلف معرفی کردند. جیم کاتفورد (۲۰۰۴) برای کمی‌سازی جوانه‌زنی و سبز شدن گندم بهاره از مدل بتا استفاده کردند سلطانی و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی اثرات زوال بذر بر واکنش جوانه‌زنی به دما در گندم پرداختند. ایشان برای توصیف رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما، سه تابع دمایی دندان‌مانند، دو تکه‌ای و بتا را به‌کار بردند و گزارش کردند که بهترین تابع برای توصیف رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما تابع دندان‌مانند بود.

دماهای کاردینال تعیین شده توسط مدل دندان‌مانند و تعداد ساعت بیولوژیک برای جوانه‌زنی گندم تحت تاثیر پتانسیل‌های خشکی در جدول (۳) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی و دمای سقف برای جوانه‌زنی در دامنه‌ای از پتانسیل‌های آب به ترتیب بین صفر تا ۱/۵، ۲۳ تا ۲۵، ۳۲ تا ۳۳ و ۴۰ تا ۴۱ درجه سانتی‌گراد تغییر داشت. ساعت بیولوژیک برای جوانه‌زنی نیز در پتانسیل‌های مختلف آب بین حدود ۳۴ تا ۵۱ ساعت بود (شکل ۲؛ جدول ۳).

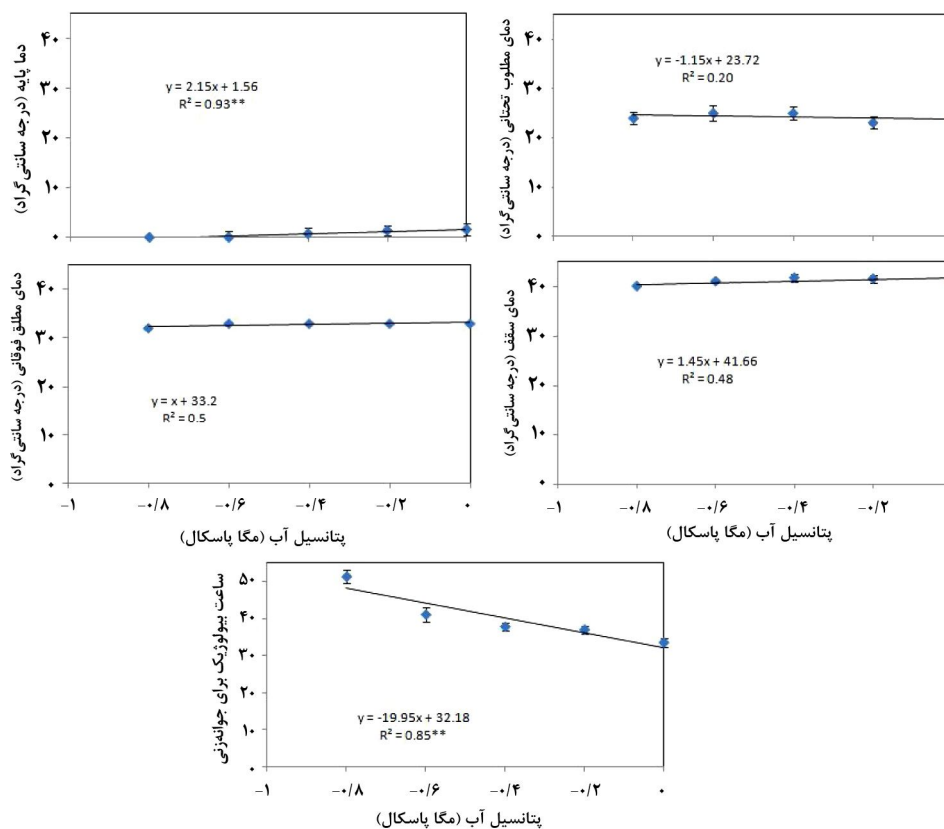
جدول ۳- الف. برآورد دمای پایه (Tb)، دمای مطلوب تحتانی (To1)، دمای مطلوب فوقانی (TO2)، دمای سقف (TC) و تعداد ساعات بیولوژیک (Go) برای جوانه‌زنی (۵۰ درصد جمعیت) با مدل دندان‌مانند در پتانسیل‌های آب مختلف.

Go	TC	TO2	To1	Tb	پتانسیل (مگا پاسکال)
۳۳/۵±۱/۱۳	۴۱/۰±۰	۳۳/۰±۰	۲۳/۸±۱/۴۸	۱/۵±۱/۲۵	۰
۳۷/۰±۱/۰۶	۴۱/۰±۰	۳۳/۰±۰	۲۳/۱±۱/۱۸	۱/۳±۱/۰۴	-۰/۲
۳۷/۸±۰/۹۸	۴۱/۰±۰	۳۳/۰±۰	۲۵/۰±۱/۳۲	۰/۷±۱/۱۱	-۰/۴
۴۱/۱±۱/۹۱	۴۱/۰±۰	۳۳/۰±۰	۲۵/۰±۱/۵۰	۰/۰±۱/۲۹	-۰/۶
۵۱/۴±۱/۷۱	۴۰/۰±۰	۳۲/۰±۰	۲۴/۰±۱/۲۷	۰±۰	-۰/۸

جیم و کاتفورث (۲۰۰۴) از تابع بتا برای کمی‌سازی رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما را در یک رقم گندم بهاره استفاده کردند و نشان دادند که دمای پایه، مطلوب و سقف برای این رقم صفر، ۳۰ و ۴۲

درجه سانتی‌گراد بود. در تحقیق مشابه‌ای سفیلد و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که دمای پایه برای جوانه‌زنی ۶ رقم مختلف گندم بهاره بین ۱/۲ تا ۱/۶ درجه سانتی‌گراد تغییر داشت. آده و پیرسون (۱۹۹۲) دمای پایه برای جوانه‌زنی و طول‌شدن کلئوپتیل دو رقم مختلف گندم ۱ درجه سانتی‌گراد به‌دست آوردند، ولی نشان دادند که دمای پایه برای سبزشدن گندم ۰/۴ درجه سانتی‌گراد بود. زینلی و همکاران (۲۰۱۰) نیز دمای پایه ۱۲ رقم گندم را بین ۲/۰ تا ۲/۹ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند. سلطانی و همکاران (۲۰۰۸) نیز نشان دادند که دمای پایه، مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و سقف برای جوانه‌زنی گندم (رقم زاگرس) به‌ترتیب حدود ۲، ۲۹، ۳۸ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود دماهای کاردینال تعیین‌شده در این تحقیق مشابه نتایج به‌دست آمده در تحقیقات قبل بود و احتمالاً اختلافات جزئی حاصل شده به‌دلیل متفاوت بودن ارقام مورد آزمایش است.

در شکل (۴) اثرات پتانسیل آب بر دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی، دمای سقف و تعداد ساعت بیولوژیک برآورد شده با مدل دندان‌مانند (مدل برتر برای پیش‌بینی جوانه‌زنی) ارائه شده است. منحنی واکنش دمای پایه در مقابل پتانسیل آب روند خطی افزایشی دارد، به‌طوری‌که از مقدار صفر در پتانسیل ۰/۸- مگاپاسکال به‌صورت خطی و با شیب حدود ۲ درجه سانتی‌گراد به ازای هر ۱ مگاپاسکال افزایش یافته است. سایر دماهای کاردینال جوانه‌زنی (دمای مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی و دمای سقف) تحت تأثیر پتانسیل آب قرار نگرفتند و تقریباً از یک روند ثابتی تبعیت کردند، به‌طوری‌که دمای مطلوب فوقانی ۳۳ و دمای سقف ۴۱ درجه سانتی‌گراد برآورد شد و تحت تأثیر تغییر پتانسیل آب تغییر معنی‌داری نداشت (شکل ۴). تعداد ساعت بیولوژیک تحت تأثیر پتانسیل آب قرار گرفت به‌طوری‌که با مثبت‌تر شدن پتانسیل آب تعداد ساعت بیولوژیک برای جوانه‌زنی کاهش یافت و با افزایش هر واحد پتانسیل آب (مگاپاسکال) تعداد ساعت بیولوژیک برای جوانه‌زنی حدود ۲۰ ساعت کاهش یافت.



شکل ۴- تأثیر پتانسیل آب بر دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، دمای مطلوب فوقانی، دمای سقف و تعداد ساعت بیولوژیک برای جوانه زنی برآورد شده به وسیله مدل دندان مانند.

اکرم قادری و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه خود روی سه گیاه (کدوی تخم کاغذی، سیاه دانه و گاوزبان) مشاهده کرد که تعداد ساعت بیولوژیک برای جوانه زنی این سه گیاه با منفی تر شدن پتانسیل آب به طور خطی افزایش یافت. وانگ و همکاران (۲۰۰۵) نشان داد که دمای پایه برای جوانه زنی توده های مورد بررسی ایشان به صورت خطی با افزایش پتانسیل آب کاهش یافت. این نشان می دهد که دمای پایه در این گیاه به پتانسیل آب وابسته است و قابلیت دسترسی آب بیشتر موجب کاهش دمای پایه می شود. در مورد اثرات تنش خشکی بر جوانه زنی و رشد گیاهچه و همچنین عملکرد در گیاهان مختلف گزارشاتی وجود دارد (هاکل، ۱۹۹۳؛ بالباکی و همکاران، ۱۹۹۹؛ روزالایند و همکاران، ۱۹۹۴)

و مطالعات حاکی از آن است که کاهش پتانسیل آب منجر به کاهش یکنواختی، سرعت جوانه‌زنی و عملکرد می‌شود. هاگل (۱۹۹۳) گزارش کرد که سرعت و درصد جوانه‌زنی ارقام لویبا با افزایش تنش خشکی کاهش می‌یابد که درصد کاهش سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی بیشتر بود. بالباکی و همکاران (۱۹۹۹) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی درصد و سرعت جوانه‌زنی ارقام گندم کاهش یافت و حساسیت سرعت جوانه‌زنی به تغییرات تنش خشکی بیشتر از درصد جوانه‌زنی بود. در مورد اثرات متقابل دما و تنش خشکی بر جوانه‌زنی مطالعاتی در گیاهان مختلف انجام شده است (آندا و پیتتر، ۱۹۹۴؛ آلوارادو و برادفورد، ۲۰۰۲؛ بلومبرگ و همکاران، ۲۰۰۹). در مطالعه‌ای که آندا و پیتتر (۱۹۹۴) بر روی سورگوم انجام دادند گزارش کردند که واکنش درصد سبز شدن این گیاه با افزایش دما در پتانسیل‌های مختلف خشکی متفاوت است. نامبردگان گزارش کردند که در پتانسیل ۰/۲- مگاپاسکال ما بین دماها از لحاظ درصد سبز شدن تفاوت معنی‌داری وجود ندارد. اما در پتانسیل ۰/۴- مگاپاسکال با افزایش دما درصد سبز شدن به‌طور خطی افزایش یافت که به‌ازای هر درجه افزایش دما از ۹ تا ۱۶ درجه سانتی‌گراد، درصد افزایش سبز شدن سورگوم در پتانسیل ۰/۴- مگاپاسکال ۴/۲ درصد و در پتانسیل ۰/۲- مگاپاسکال ۰/۶۴ درصد بود. همچنین نامبردگان بیان داشتند که در پتانسیل ۰/۴- مگاپاسکال، بذرها در دمای ۱۶ درجه سانتی‌گراد نسبت به دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد ۸ روز دیرتر سبز شدند. همچنین گزارش شده است که پتانسیل آب پایه برای جوانه‌زنی بذرها گیاهان زراعی با افزایش دما در بالاتر از دمای مطلوب افزایش می‌یابد (آلوارادو و برادفورد، ۲۰۰۲؛ روز و فینچ - ساویج، ۲۰۰۳). علاوه بر آن گزارش شده است که روابط بین سرعت جوانه‌زنی و دما می‌تواند به وسیله قابلیت دسترسی به آب تغییر کند (روز و فینچ - ساویج، ۲۰۰۳).

بیشتر مدل‌های جوانه‌زنی در شرایط کنترل شده محیطی توسعه یافته‌اند و گزارشات نسبتاً کمی در مورد کاربرد آن‌ها در شرایط مزرعه در دسترس است. مدل‌های جوانه‌زنی می‌توانند برای کمی کردن وابستگی جوانه‌زنی و سبز شدن به دما و پتانسیل آب استفاده شوند. هر چند که سبز شدن در مزرعه توسط اثرات متقابل محیطی پیچیده زیادی تعیین می‌شود، ولی این مدل‌ها تا حد زیادی قادر به ارائه تصویر روشنی از سبز شدن در مزرعه هستند. نتایج این پژوهش نشان داد که برای پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه گندم می‌توان از مدل دندان‌مانند استفاده کرد زیرا این مدل نسبت به مدل‌های دیگر از دقت بیشتری در توصیف سرعت جوانه‌زنی این گیاه به دما و پتانسیل آب برخوردار بود و به خوبی سرعت جوانه‌زنی این گیاه به دما و پتانسیل آب را توصیف کرد. در این تحقیق با کمک تابع

دندانمانند دماهای کاردینال برای جوانه‌زنی تعیین شدند. دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، مطلوب فوقانی و دمای سقف برای جوانه‌زنی گندم در شرایط عدم تنش به ترتیب ۱/۵، ۲۳/۸، ۳۳/۰ و ۴۱/۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمدند. نتایج نشان داد که به‌جز دمای پایه برای جوانه‌زنی بقیه دماهای کاردینال تحت تاثیر پتانسیل آب تغییر معنی‌داری نداشتند. از طرفی ساعت بیولوژیک مورد نیاز برای جوانه‌زنی نیز به صورت خطی با مثبت‌تر شدن پتانسیل آب کاهش یافت، یعنی بذور در شرایط تنش خشکی در مدت زمان طولانی‌تری جوانه خواهند زد. از این روابط می‌توان برای پیش‌بینی زمان تا جوانه‌زنی و یا سبز شدن گندم در شرایط نرمال و دامنه‌وسیع از تنش خشکی استفاده نمود.

#### منابع

1. Addae, P.C. and Pearson, C.J. 1992. Thermal requirement for germination and seedling growth of wheat. *Australian J. Agric. Res.* 43: 585-594
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. Akramghaderi, F., Soltani, A. and Sadeghipour, H.R. 2008. Cardinal temperature of germination in medical pumpkin (*Cucurbita pepo* conver *pepo* var. *styriaca*), borago (*Borago officinalis* L.) and black cumin (*Nigella sativa* L.). *Asian J. Plant Sci.* 2: 101-109.
4. Alvarado, V., and Bradford, K.J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environ.* 25: 1061-1069.
5. Alvarado, V. 2000. Hydrothermal time model of boranical potato seed germination. M.Sc thesis. University of California. Davis. 71pp.
6. 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 and Technol.* 27: 291-302.
7. Baskin, C.C. and Baskin, J.M. 2001. *Seeds ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination.* Academic Press. San Diego, California. pp. 666.
8. Bewley, J.D. and Black, M. 1994. *Seeds Physiology of Development and Germination.* New York: Plenum Press. pp. 445.
9. 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.
10. Bradford, K.J. 1990. A water relation analysis of seed germination rates. *Plant Physiol.* 94: 840-849.
11. Bradford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Sci.* 50:248-260.



12. Covell, S., Ellis, R.H., Roberts, E.H. and Summerfield, R.J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes and comparison of chickpea, lentil, soybean and cowpea at constant temperatures. *J. Exp. Bot.* 37: 705-715.
13. De Villiers, A.J., Van Rooyrn, M.W., Theron, G.K. and Van De Venter. H.A. 1994. Germination of three namaqaland pioneer species, as influenced by salinity, temperature and light. *Seed Sci and Technol.* 22: 424-423.
14. Ellis, R.H., Covell, S., Roberts., E.H., and Summerfield, R.J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. II. Intraspecific variation in chickpea (*Cicer arietinum* L.) at constant temperatures. *J. Exp. Bot.* 37: 1503-1515.
15. Forcella, F., Benech Arnold, R.L., Sanchez, R. and Ghersa, C.M. 2000. Modeling seedling emergence. *Field Crops Res.* 67: 123-139.
16. 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.
17. Ghadri-Far, F., Galeshi, S., Sadati, S.J., and Kashiri, A. 2001. Determination of cardinal temperature in *Trifolium aubterraneum* L. *Pajouhesh and Sazandegi*, 53: 36-39.
18. 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 Tech.* 26 (1): 7 85.
19. Hardegree, S.P. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. *Ann. Bot.* 97: 1115-1125.
20. Hucl, P. 1993. Effect of temperature and moisture stress on the germination of diverse common bean genotypes. *Can. J. Plant. Sci.* 73: 697-702.
21. ISTA. 2009. International rules for seed testing. International Seed Testing Association (ISTA). Edition 2009.
22. Jame, Y.W. and Cutforth, H.W. 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agric. For. Meteorol.* 124: 207-218.
23. Jami Al-Ahmadi, M. and Kafi, M. 2007. Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.). *J. Arid Environ.* 68: 308-314.
24. Jacobsen, S.E., and Bach, A.P. 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Seed Sci. and Technol.* 26: 515-523.
25. Mwale, S.S., Azam-Ali, S.N., Clark, J.A., Bradley, R.G., and Chatha, M.R. 1994. Effect of temperature on the germination of sunflower. *Seed Sci. and Technol.* 22: 565-571.
26. Naylor, R.E.L. 2007. Using segmented regression to analyse the response of germination to temperature. *Seed Sci. and Technol.* 35: 539-549. 27. Ramin,

- A.A. 1997. The influence of temperature on germination taree irani. Seed Sci. Technol. 25: 419-426.
27. Rosalind, A.B., Oosterhuis, D.M. and Mauromoustakos, A. 1994. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. Agro. J. 86: 788-795.
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. Seefeldt, S.S., Kidwell, K.K. and Waller, J.E. 2002. Base growth temperature on germination rates and growth response of contemporary spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars from the USA Pacific North west. Field Crop Res. 75:47-52.
30. Shafii, B. and Price, W.J. 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. J. Agric., Bio. Environ. Statis. 6: 356-366.
31. 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 Coas of Iran. Seed Sci. Technol. 29: 653-662.
32. 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. and Technol. 30: 51-60.
33. Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as affected by temperature and sowing depth. Agri. Forest. Met. 138: 156-167.
34. Soltani, A. 2007. Application of SAS in statistical analysis. 2<sup>nd</sup> ed., JDM Press, Mashhad, Iran, 182p.
35. 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.
36. Soltani, A. and Maddah, V. 2010. Simple, applied programs for education and research in agronomy. Niak Press. P. 80.
37. 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. in plants: An overview. Environ. Exp. Bot. 61, 199-223.
38. Yousefi-Daz, M., Soltani, A., ghaderi-far, F., and Sarparast, R. 2006. Evaluation of non-linear regression models to describe response of emergence rate to temperature in chickpea. Agric. Sci. and Technol. 20: 93-102.
39. Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S., and Sadati, S.J. 2010. Cardinal temperatures, response to temperature and range of thermal tolerance for seed germination in wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. Elect. J. Crop Prod. 3: 23-42.



## Quantify wheat germination rate response to temperature and water potential

**M. Nozari-nejad<sup>1</sup>, E. Zeinali<sup>2</sup>, A. Soltani<sup>2</sup>, E. Soltani<sup>3</sup> and B. Kamkar<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>M.Sc Student of Agronomy, <sup>2</sup>Assistant Prof., Professor & Assistant Prof., Dept. of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, <sup>3</sup>Assistant Prof. Dept. of Agronomy and Plant Breeding, Pardis Aboryhan, Tehran University

Received: 07-13-2013; Accepted: 11-19-2013

### Abstract

It is very important to find the best model to quantify seed germination rate on the response of temperature which it can be used in determination of cardinal temperatures. This study was conducted to evaluate nonlinear regression models for description wheat (cv. Morvarid) germination rate response to temperatures and water potentials. Therefore, seeds germination rate were evaluated in temperatures of 5, 10, 15, 20, 25, 30 and 37°C and water potentials of 0, -0.2, -0.4, -0.6 and -0.8 MPa. Four functions (Dent-like, Segmented, Beta (original) and Beta (Modified)) were evaluated to describe germination rate on the response to temperature and water potentials. The results indicated that the best model was Dent-like which can better estimate germination rate in response to temperature and water potential. The base, the lower and the upper and the ceiling temperatures were 1.5, 23.8, 33.0 and 41.0°C in the optimum conditions of water potential. Cardinal temperatures had no significant change under different water potentials, except for base temperature. Biological time for germination ranged from 34 to 51 h in different water potentials. Biological time increased about 20 h by decreasing 1 MPa. Estimated parameters and the relations can be used to predict time to germination or emergence in wheat under wide environmental conditions from normal to drought stress.

**Keywords:** Wheat; Nonlinear regression models; Temperature; Water potential; Germination.

---

\*Corresponding author; ezstudents11@yahoo.com

