

برآورد دماهای کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی بذر علف‌هرز

بروموس ژاپنی (*Bromus japonicus*)

Estimation of Cardinal Temperatures and Thermal Time Requirement for *Bromus japonicus* Seed Germination

محبوبه بصیری^۱، سید محسن موسوی‌نیک^۲، آسیه سیاهمرگویی^۳، سید کاظم صباغ^۴

چکیده:

به منظور کمی‌سازی پاسخ سرعت جوانه‌نی بذور علف‌هرز بروموس ژاپنی نسبت به دما، برآورد دماهای کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی، سه مدل رگرسیون غیر خطی (دو تکه‌ای، بتا (۴ پارامتره و ۵ پارامتره) در هشت دمای ثابت (۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) مورد ارزیابی قرار گرفت. از شاخص‌های مختلف آماری مانند ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R²) و شاخص آکائیک (AICc) برای مقایسه بین مدل‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد مدل دو تکه‌ای نسبت به سایر مدل‌ها واکنش سرعت جوانه‌زنی بروموس به دما را بهتر توصیف کرد، از این رو دماهای پایه، مطلوب و سقف برای جوانه‌زنی به ترتیب ۱۰/۶، ۰/۶۶ و ۴۴/۵۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. بر اساس مدل دو تکه‌ای زمان حرارتی لازم برای ۵۰ و ۹۵ درصد جوانه‌زنی به ترتیب ۲۲/۴۰ و ۴۵/۵۷ درجه-روز بود. آگاهی از این پارامترهای اکولوژیکی می‌تواند به کمی‌سازی رفتار علف‌های هرز در پاسخ به متغیرهای مختلف اقلیمی به ویژه دما سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: علف‌هرز مهاجم، پاسخ دمایی، شاخص آکائیک.

مقدمه

(Caswell *et al.*, 2003) نشان دادند که در تهاجم

گیاهان، رشد جمعیت و پراکنش مؤثر در درون و بین بوم‌نظام‌ها، از جمله خصوصیات است که در بسیاری از علف‌های هرز وجود دارد.

بروموس ژاپنی یکی از گونه‌های مهم خانواده

معرفی، استقرار و گسترش گیاهان خارجی

غیر بومی به‌عنوان گیاهان مهاجم به نواحی جدید اهمیت زیادی پیدا کرده و یکی از چالش‌های جهانی است (Zhou *et al.*, 2006). کسول و همکاران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۴/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۱۶

۱ - دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه زابل.

۲ - دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه زابل.

۳ - استادیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴ - دانشیار گروه زیست‌شناسی دانشکده علوم دانشگاه یزد.

* - نویسنده مسئول E-mail: siahmarguee@gau.ac.ir

گندم است. این گیاه بومی اروپا و آسیا است و معمولاً در حاشیه جاده‌ها، زمین‌های مرطوب، تالاب‌ها و زمین‌های زراعی از قبیل مزارع گندم یافت می‌شود (Li, 1998). بروموس ژاپنی یک علف‌هرز یکساله زمستانه است که گیاهچه‌های آن معمولاً در فاصله بین ماه‌های شهریور تا اوایل آبان ظاهر می‌شوند، گلدهی در اوایل اردیبهشت اتفاق می‌افتد و انتشار بذر آن در اوایل مهر ماه شروع می‌شود (Baskin and Baskin, 1981). این علف‌هرز می‌تواند به‌طور متوسط ۱۸۸۵ بذر تولید کند (Baskin and Baskin, 1981). این بذرها به‌دلیل سبک بودن می‌توانند به راحتی توسط آب یا باد انتشار یابند (Wang, 1986). بروموس ژاپنی رقابت شدیدی با گندم دارد و ممکن است در مزارع بسیار آلوده، حداقل ۳۰ درصد عملکرد را کاهش دهد (Wei, 2010). این گیاه قادر است در دامنه وسیعی از درجه حرارت‌ها و همچنین در نور یا تاریکی تحت شرایط رطوبت کافی جوانه بزند (Li et al., 2015). ایران از جمله استان سیستان و بلوچستان به عنوان یکی از علف‌های هرز مهم مزارع گندم تبدیل شده است، طبق تحقیقات ادیم (Adim, 2009) بروموس ژاپنی مهم‌ترین گونه باریک برگ غالب در مزارع گندم سیستان محسوب می‌شود.

مرحله جوانه‌زنی علف‌های هرز یکی از مراحل بحرانی برای استقرار هر گونه علف‌هرز به حساب می‌آید، زیرا نشان‌دهنده اولین مرحله‌ای است که گیاه می‌تواند برای دریافت نیچ اکولوژیکی با سایر گیاهان رقابت کند (Ghaderi-Far et al., 2010; Tanveer et al., 2007; Vidal et al., 2013). توسعه سیستم‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز بستگی به درک کامل بیولوژی بذر آن‌ها دارد (Chauhan and

Johnson, 2009). جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه علف‌هرز کلیدهای تعیین-کننده موفقیت یک علف‌هرز در اکوسیستم‌های کشاورزی می‌باشد (Forcella et al., 2000). عوامل محیطی تنظیم‌کننده جوانه‌زنی برای بذرها بدون خواب، به‌طور معمول شامل دما، آب و اکسیژن و برای بذرها دارای خواب، علاوه بر این عوامل، نور و محرک‌های شیمیایی می‌باشد (Baskin and Baskin, 2004). زمان رسیدن به درصد‌های مختلف جوانه‌زنی شاخصی است که به‌شدت تحت تأثیر شرایط حاکم بر جوانه‌زنی و به‌ویژه دما قرار می‌گیرد (Alvarado and Bradford, 2002). دامنه دمایی برای جوانه‌زنی توسط دماهای پایه، مطلوب و سقف تعریف می‌شود که می‌تواند برخی از محدودیت‌های زیست‌محیطی برای توزیع جغرافیایی گونه‌ها را تعیین کند (Hakansson et al., 2002). سرعت نمو بین دماهای پایه و مطلوب افزایش می‌یابد، بین دماهای مطلوب و سقف کاهش یافته و فراتر از دمای مطلوب و کمتر از دمای پایه متوقف می‌شود (Shafii and Price, 2001). پیش‌بینی جوانه‌زنی و سبز شدن علف‌های هرز می‌تواند راهبرد مناسبی برای مدیریت آنها فراهم سازد (Masin et al., 2005). جوانه‌زنی بذر علف‌های هرز یک فرآیند کلیدی است، زیرا علاوه بر تعداد علف‌های هرزی که به‌طور بالقوه می‌توانند در مزرعه سبز شوند، زمان رویش آن‌ها را نیز تعیین می‌کند. انواعی از توابع ریاضی برای توصیف رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما استفاده شده است (Shafii and Price, 2001; Soltani et al., 2006). امتیاز این توابع این است که پارامترهای این مدل‌ها دارای مفهوم بیولوژیکی مانند دماهای کاردینال و سرعت ذاتی جوانه‌زنی و سبز شدن هستند. مدل‌های غیرخطی بسیاری برای توصیف

مواد و روش‌ها

این تحقیق در پژوهشکده زیست فناوری دانشگاه زابل در سال ۱۳۹۳ انجام شد. بذور علف‌هرز بروموس ژاپنی از سطح مزارع گندم در مرکز تحقیقات کشاورزی شهرستان زهک واقع در استان سیستان و بلوچستان جمع‌آوری شدند. جوانه‌زنی بذور بروموس روی ۵۰ بذر در چهار تکرار ارزیابی و در حدود ۹۹ درصد تعیین شد. آزمون جوانه‌زنی در انکوباتور با دماهای ثابت (۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) انجام شد. آزمایش به صورت طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار بود. هر پتری‌دیش به منزله یک تکرار در نظر گرفته شد. برای هر تکرار ۵۰ عدد بذور بروموس انتخاب و پس از ضدعفونی و شستشو با آب مقطر بر روی دو لایه کاغذ صافی واتمن شماره یک در پتری‌دیش پلاستیکی ۹ سانتی‌متری قرار گرفت. سپس کاغذ صافی با ۵ میلی‌لیتر آب مقطر مرطوب شد. جهت کاهش تلفات آب از طریق تبخیر، پتری‌دیش‌ها با پارافیلیم پوشانیده شدند و آبیاری پتری‌دیش‌ها در صورت لزوم انجام شد. شمارش بذره‌ای جوانه‌زده هر ۱۲ ساعت در روز صورت گرفت. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود (Soltani et al., 2001). شمارش تازمانی که تعداد بذور جوانه‌زده تا سه روز متوالی در هر نمونه ثابت بود، ادامه یافت. در کلیه تیمارها، علاوه بر درصد و سرعت جوانه‌زنی، برای هر تکرار منحنی پیشرفت جوانه‌زنی نسبت به زمان (ساعت) ترسیم و زمان لازم برای ۱۰ درصد (D_{10})، ۵۰ درصد (D_{50})، ۹۰ درصد (D_{90}) و ۹۵ درصد (D_{95}) جوانه‌زنی از طریق درون‌یابی برآورد گردید. همچنین، عکس زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی ($1/D_{50}$) به عنوان سرعت جوانه‌زنی (GR) در نظر گرفته شد. محاسبات موردنیاز با استفاده

سرعت نمو جوانه‌زنی گیاه در برابر دما پیشنهاد شده است (Jameand Cutforth., 2004; Hardegree, 2006). انتخاب مدل مناسب برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما، در تعیین دقیق دماهای کاردینال بسیار مهم است. کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2012) از مدل‌های بتا، دو تکه‌ای و دندان مانند برای توصیف سرعت جوانه‌زنی خشخاش (*Papaver somniferum L.*) در برابر دما استفاده کردند. بخشنده و همکاران (Bakhshandeh et al., 2011) از مدل‌های هیدروتایم^۱، ترمال‌تایم^۲ و هیدرو ترمال‌تایم^۳ در کمی‌سازی اثر متقابل دما و پتانسیل آب در دو گیاه برگ مخملی و سویا استفاده کردند. همچنین درخشان و همکاران (Derakhshan et al., 2013) از مدل دندان مانند، دو تکه‌ای و بتا برای برآورد دماهای کاردینال و زمان حرارتی موردنیاز برای جوانه‌زنی بذور اویارسلام بذری استفاده نمودند. سودمندی عملیات کنترل علف‌های هرز از قبیل عملیات خاک‌ورزی و کاربرد علف‌کش‌های پس‌رویشی تحت تأثیر زمان سبز شدن علف‌هرز قرار می‌گیرد. بنابراین آگاهی از نیازهای دمایی جهت سبز شدن علف‌هرز امری مهم و اجتناب‌ناپذیر در طراحی و اجرای استراتژی‌های کنترل علف‌های هرز می‌باشد (Derakhshan et al., 2014). از این‌رو این مطالعه به منظور ارزیابی برخی مدل‌های رگرسیونی غیر خطی برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و تعیین زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی علف‌هرز بروموس ژاپنی صورت گرفت.

-
- 1- Hydro time
 - 2- Termaltim
 - 3- Hydro termal time

پارامتره و دندان مانند؛ جدول ۱) از نرم‌افزار SigmaPlot ۸ استفاده شد. ارزیابی برازش مدل‌ها با کمک شاخص ریشه میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و ضریب تبیین (R^2) صورت گرفت. $RMSE$ کوچک‌تر و R^2 نزدیک‌تر به یک نشانگر برازش بهتر مدل به داده‌ها است.

برای انتخاب بهترین مدل از شاخص آکائیک (AIC^1) و شاخص آکائیک تصحیح شده ($AICc^2$) استفاده شد (Burnham and Anderson, 2002):

$$A = n.L \left(\frac{R}{n} \right) + 2k \quad (2)$$

$$A = n.L \left(\frac{R}{n} \right) + 2k + \left(\frac{2k(k+1)}{n-k-1} \right) \quad (3)$$

که RSS^3 ، جمع مربعات باقیمانده؛ n ، تعداد نمونه و k ، تعداد پارامترهای مدل مورد نظر می‌باشد.

از برنامه Germin (Soltani and Maddah, 2010) انجام شد. برای کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال از مدل زیر استفاده شد (Soltani et al., 2008).

$$R_{50} = f(T)/G_0 \quad (1)$$

که در آن G_0 حداقل ساعت تا جوانه‌زنی در دمای مطلوب است بنابراین $1/G_0$ حداکثر سرعت جوانه‌زنی را نشان می‌دهد، $f(T)$ تابع دما است که بین صفر (در دمای پایه) و یک (در دمای مطلوب) تغییر می‌کند و R_{50} نیز سرعت جوانه‌زنی را برای درصدهای مختلف نشان می‌دهد. برای برآورد زمان تا درصدهای مختلف جوانه‌زنی و همچنین پارامترهای مدل‌ها (دو تکه‌ای، بتا ۴ پارامتره و ۵

جدول ۱- مدل‌های دو تکه‌ای، بتا (۴ پارامتره و ۵ پارامتره) و دندان مانند به سرعت جوانه‌زنی بروموس ژاپنی در دماهای ثابت برازش داده شد، که T_b ، دمای پایه؛ T_o ، دمای مطلوب؛ T_{o1} ، دمای مطلوب تحتانی؛ T_{o2} ، دمای مطلوب فوقانی؛ T_c ، دمای سقف و c ، پارامتر شکل در تابع بتا می‌باشند.

Table 1- segmented and Beta (five and four parameter) models were fitted to Japanese bromseed germination rate vs. constant temperatures, where T is the temperature, T_b the base temperature, T_o the optimum temperature, T_{o1} the lower optimum temperature (for dent-like function), T_{o2} the upper optimum temperature (for dent-like function), T_c the ceiling gtemperature and c is the shape parameter for the beta function.

Function	Formula	Reference
Segmented	$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b)$ if $T_b < T < T_o$ $f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_o)$ if $T_o < T < T_c$ $f(T) = 0$ if $T < T_b$ or $T > T_c$	Soltani et al., 2006
Beta, four parameter	$f(T) = ((T_c - T) / (T_c - T_o)) * ((T - T_b) / (T_o - T_b))^{(T_o - T_b) / (T_c - T_o)}$	Yan and Hunt, 1999
Beta, five parameter	$f(T) = [(T - T_b) / (T_o - T_b)] * ((T_c - T) / (T_c - T_o))^{(T_c - T_o) / (T_o - T_b)}]^a$	Yin et al., 1995
Dent-like	$f(T) = ((T - T_b) / (T_{o1} - T_b))$ if $T_b < T \leq T_{o1}$ $f(T) = ((T_c - T) / (T_c - T_{o2}))$ if $T_{o2} < T \leq T_c$ $f(T) = 1$ if $T_{o1} < T \leq T_{o2}$ $f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$	Piper et al., 1996

کمترین مقدار $AICc$ محاسبه شده از بین مدل‌ها است

- 1- Akaike Information Criterion
- 2- Corrected Akaike Information Criterion
- 3- Residual Sum of Square

بهترین مدل در مقایسه مدل‌ها، مدلی است که کمترین میزان $AICc$ محاسبه شده را داشته باشد. رتبه‌بندی مدل‌ها نیز با استفاده از شاخص Δi انجام شد. $\Delta i = AICc - \min AICc$ که Δi (۴)

بر آورد دمای پایه مشاهده نشد و برای همه دهک‌ها بین $1/73 - 0/33$ - درجه سانتی گراد متغیر بود. مقادیر دمای پایه برای دهک‌های مورد بررسی در مدل بتا ۴ پارامتره و ۵ پارامتره نسبت به دو مدل دیگر بیشتر بود و در محدوده بین $2/67 - 0/29$ درجه سانتی گراد تغییر کرد. بر اساس مدل دو تکه‌ای دمای مطلوب برای همه درصدهای جوانه‌زنی بین $10/76$ و 10 درجه سانتی گراد بود. دمای مطلوب با استفاده از مدل‌های بتا ۴ پارامتره، بتا ۵ پارامتره و دندان مانند به ترتیب بین $16/12 - 13/5$ ، $15/4 - 12/2$ و $20/6 - 10$ درجه سانتی - گراد بر آورد گردید. ضریب تبیین بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهده بین $0/97 - 0/70$ متغیر بود. در بین مدل‌های مورد بررسی بیش‌ترین و کم‌ترین ضریب تبیین به ترتیب به مدل دندان مانند و بتا ۴ پارامتره تعلق داشت. همچنین، ریشه میانگین مربعات خطا نشان داد که مدل دو تکه‌ای نسبت به مدل‌های بتا (۴ پارامتره و ۵ پارامتره) و دندان مانند برآزش بهتری داشت. کمترین میزان $AICc$ برای دهک‌های D_{90} ، D_{05} و D_{95} مربوط به مدل دو تکه‌ای بود ($0 = \Delta i$)، همچنین کمترین میزان $AICc$ برای داده‌های مربوط به دهک‌های D_{10} و D_{50} مربوط به مدل دندان مانند بود ($0 = \Delta i$) که با مدل دو تکه‌ای اختلاف معنی‌دار نداشت. به‌طور کلی نتایج نشان داد مقادیر تفاضل $AICc$ (Δi) برای دهک‌های D_{90} ، D_{50} ، D_{10} ، D_{05} و D_{95} برای مدل‌های دو تکه‌ای و دندان مانند کمتر از ۱۰ بود (جدول ۲)، این مطلب نشان می‌دهد که اختلافی در دقت برآزش این مدل‌ها برای این دهک‌ها وجود ندارد. آمار توصیفی (میانگین، دامنه و انحراف معیار) بر روی دماهای کاردینال بر آورد شده در جدول (۳) ارائه شده است. کمترین دامنه و انحراف معیار در بر آورد دمای مطلوب

و در واقع متعلق به مدلی است که بهترین برآزش را نشان داده است. اگر $10 < \Delta i$ باشد به مفهوم عدم اختلاف در برآزش مدل‌هاست و مدل با $AICc$ بزرگ‌تر نیز برآزش خوبی ارائه خواهد داد و این مدل مناسب است. در صورتی که $10 > \Delta i$ باشد مدل با $AICc$ بزرگ‌تر، مناسب نبوده و برآزش خوبی ارائه نخواهد داد (Burnham and Anderson, 2002).

برای محاسبه زمان حرارتی مورد نیاز برای هر یک از درصدهای جوانه‌زنی از پارامترهای بر آورد شده توسط مدل برتر استفاده شد.

زمان حرارتی روزانه (DTT) نیز به صورت $(T_o - T_b) \cdot f(T)$ محاسبه شد، که $f(T)$ تابع دمایی؛ T_o دمای مطلوب و T_b دمای پایه می‌باشد. جزء اول معادله زمان حرارتی ثابت بوده و دماهای نامطلوب زمان حرارتی روزانه را از طریق $f(T)$ تحت تأثیر قرار می‌دهند (Derakhshan et al., 2013).

نتایج و بحث

میانگین درصد جوانه‌زنی بذور بروموس ژاپنی در دماهای ثابت ۳، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی گراد به ترتیب معادل $70/5 \pm 2/22$ ، $52 \pm 1/41$ ، $75/5 \pm 1/100$ ، 26 ± 99 ، 0 ± 97 ، $1/5 \pm 0/96$ ، $42/5 \pm 1/41$ و $4/5 \pm 0/5$ بود. در شکل (۱) مدل‌های برآزش داده شده به سرعت جوانه‌زنی نسبی در مقابل دما برای مقادیر D_{90} ، D_{10} ، D_{50} و در جدول (۲) پارامترهای بر آورد شده برای کلیه درصدهای جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های دو تکه‌ای، بتا ۴ پارامتره، بتا ۵ پارامتره و دندان مانند ارائه شده است. بر اساس مدل‌های دو تکه‌ای و دندان مانند، برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی اختلاف قابل توجهی در

است. بر اساس مدل دو تکه‌ای زمان حرارتی مورد نیاز برای ۵۰ و ۹۵ درصد جوانه‌زنی به ترتیب معادل ۸/۰۴ و ۱۵/۲۸ درجه-روز بود.

استفاده از سرعت نمو گیاه به صورت تابعی از زمان حرارتی در مدیریت زراعی و مدل‌سازی رشد و نمو گیاه بسیار حایز اهمیت است. مفهوم زمان حرارتی (TT) یا درجه روزهای رشد یکی از شاخص‌هایی است که به وفور در آزمایشات بیولوژیک مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقیاسی از زمان فیزیولوژیک مورد نیاز برای تکمیل یک فرآیند نموی (مثل جوانه‌زنی) در اختیار قرار می‌دهد (Derakhshan *et al.*, 2013). جوانه‌زنی از بحرانی‌ترین مراحل نمو یگ گیاه و تعیین‌کننده موفقیت یک علف‌هرز در یک بوم نظام زراعی است، درک بهتر جوانه‌زنی و سبزشدن علف‌های هرز در پیش‌بینی دامنه اکولوژیکی و پتانسیل گسترش به مناطق جدید و نیز در صورت نیاز جهت توسعه برنامه‌ی کنترلی مفید واقع خواهد بود (Koger *et al.*, 2004). پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی و سبزشدن در دماهای مختلف یکی از مهم‌ترین اهدافی است توسط محققین دنبال می‌شود (Forcella, 1998). تفاوت کمی در حداکثر درصد جوانه‌زنی بذور بروموس در پاسخ به دماهای ثابت در محدوده دمایی بین ۳ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد وجود داشت. در این تحقیق سرعت جوانه‌زنی حساسیت بیشتری به دما نسبت به درصد جوانه‌زنی داشت. حساسیت بیشتر سرعت جوانه‌زنی به دما در سایر مطالعات گزارش شده است (Steinmaus *et al.*, 2000, Khalili *et al.*, 2013). درجه حرارت یک شاخص مناسبی از زمان در طول سال است و بنابراین می‌تواند به عنوان یک عامل مؤثر در تعیین زمان جوانه‌زنی محسوب شود (Fennerand

مربوط به مدل دو تکه‌ای بود. دمای مطلوب برآورد شده توسط مدل‌های دو تکه‌ای، بتا ۴ پارامتره و بتا ۵ پارامتره در محدوده بین دمای مطلوب تحتانی و دمای مطلوب فوقانی برآورد شده با مدل دندان مانند قرار داشتند. در مجموع میانگین پارامترهای برآورد شده با مدل دو تکه‌ای (جدول ۳) نسبت به سایر مدل‌ها از اطمینان بیشتری برخوردار بود و مدل دندان مانند نسبت به مدل‌های بتا برازش بهتری داشت.

بر اساس مدل دو تکه‌ای، حداقل زمان مورد نیاز برای رسیدن به درصدهای جوانه‌زنی D_{05} , D_{10} , D_{50} , D_{90} و D_{95} به ترتیب معادل ۲۷/۸۷، ۳۴/۴۶، ۵۸/۸۳، ۱۱۳/۳۰ و ۱۲۶/۴۰ ساعت پس از جذب آب بود. تابع دمایی $f(T)$ محاسبه شده برای دماهای ثابت مورد استفاده در این آزمایش بر اساس مدل دو تکه‌ای در شکل (۲) نشان داده شده است. دماهای نزدیکتر به دمای مطلوب جوانه‌زنی اثر کاهشی کمتری بر سرعت جوانه‌زنی داشتند.

بر اساس پارامترهای برآورد شده با مدل دو تکه‌ای می‌توان با یکی از رابطه‌های زیر وقوع هر یک از درصدهای جوانه‌زنی را پیش‌بینی نمود (Soltani *et al.*, 2006).

$$\sum f(T) = f \quad (5)$$

$$\sum \frac{f(T)}{f_0} = f(T).R = 1 \quad (6)$$

$$\sum D = T \quad (7)$$

که R_{max} ، حداکثر سرعت جوانه‌زنی و TT ، زمان حرارتی مورد نیاز برای وقوع مرحله نموی می‌باشند.

زمان حرارتی مورد نیاز برای هر یک از درصدهای جوانه‌زنی در شکل (۳) نشان داده شده

تعریف شده با استفاده از مدل دوتکه‌ای نسبت به سایر مدل‌های مورد بررسی در این تحقیق معقول‌تر بود. بر این اساس سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما در محدوده دمای ۳ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد به صورت خطی افزایش یافت و در محدوده ۱۵ تا ۳۵ با افزایش دما به صورت خطی کاهش یافت. بر اساس خروجی‌های مدل دوتکه‌ای دمای پایه، مطلوب و سقف بروموس ژاپنی به ترتیب ۰/۶۶، ۱۰/۶ و ۴۴/۵۸ برآورد گردید. پارامترهای برآورد شده در این تحقیق مقادیر اولیه مورد نیاز برای پیش‌بینی زمان از آبنوشی تا جوانه‌زنی بذور بروموس ژاپنی را به عنوان اولین مرحله نمودی در اختیار قرار می‌دهد.

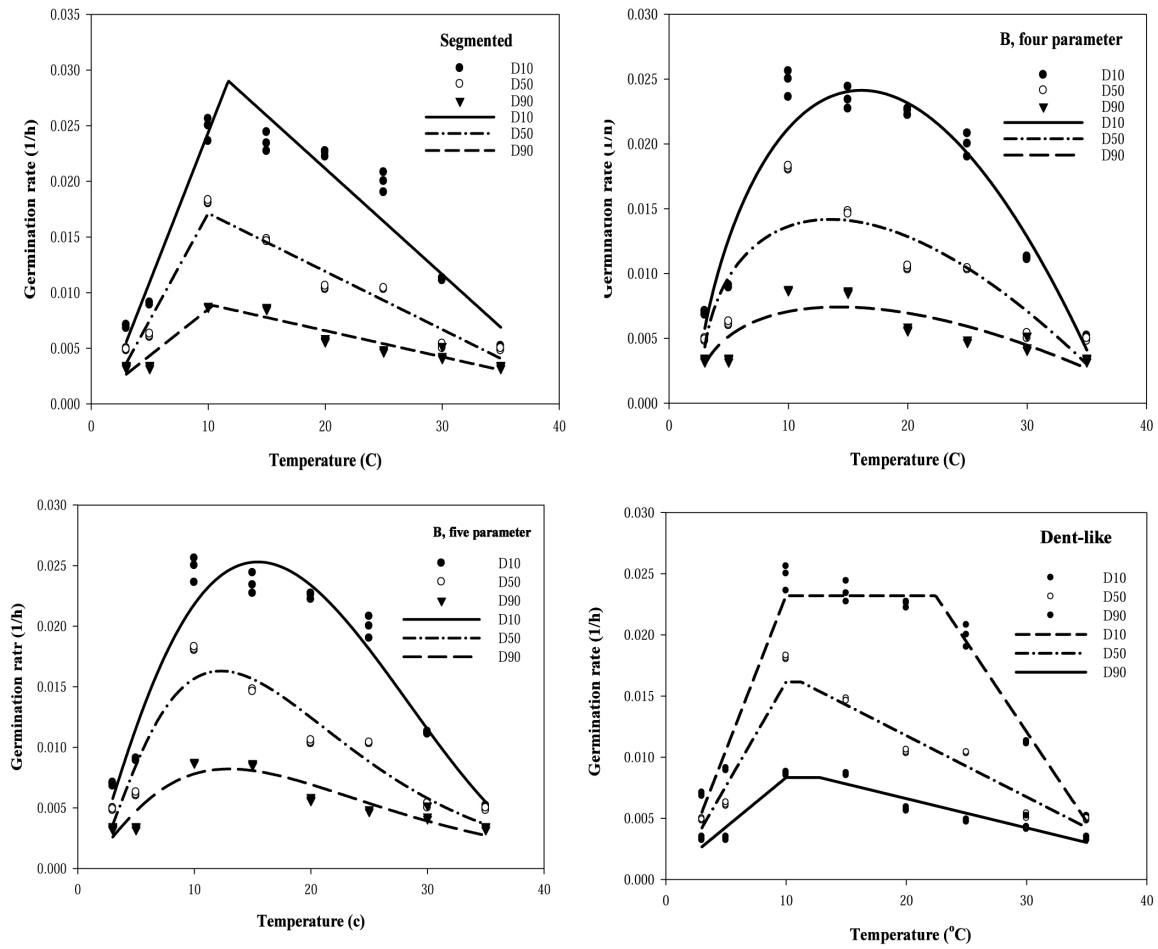
رایج‌ترین مدل‌های مورد استفاده برای توصیف پاسخ حرارتی مبتنی بر مفاهیم دماهای کاردینال است. این مدل‌ها به ویژه در ایجاد شاخص‌هایی برای مقایسه پاسخ سرعت نسبی جوانه‌زنی به دما سودمند بوده و مرتبط با فرایندهای فیزیولوژیکی می‌باشند. دماهای کاردینال جوانه‌زنی از پارامترهای مهم مدل‌های پویایی علف‌های هرز می‌باشند (Derakhshan *et al.*, 2014). از آنجایی که سودمندی عملیات کنترل علف‌های هرز از قبیل عملیات خاک‌ورزی و کاربرد علف‌کش‌های پس‌رویشی تحت تأثیر زمان جوانه‌زنی و سبز شدن علف‌هرز قرار می‌گیرد. بنابراین آگاهی از نیازهای دمایی جهت سبز شدن علف‌هرز امری مهم و اجتناب‌ناپذیر در طراحی و اجرای استراتژی‌های کنترل علف‌های هرز محسوب می‌شود. همچنین، آگاهی از این پارامترهای اکولوژیکی می‌تواند به کمی‌سازی رفتار علف‌های هرز در پاسخ به متغیرهای مختلف اقلیمی به ویژه دما مفید باشد.

(Thompson, 2005). جوانه‌زنی عموماً در دامنه‌ای از دما رخ می‌دهد. تعدادی از محققان اعتقاد دارند که سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما بین دمای پایه و بهینه به صورت خطی افزایش می‌یابد

(McMaster and Wilgelm, 1998; Wilkens and Singh, 2001) با این حال، برخی محققان دریافته‌اند که واکنش سرعت نمو گیاهان به دما، غیرخطی است (Ghaderifar *et al.*, 2008; Timmermans *et al.*, 2007; Wang *et al.*, 2006). اثر دما بر جوانه‌زنی بذر و ظهور چندین گونه از طریق مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است (Kurtar, 2010). وانگ و همکاران (Wang and Tanino, 2006)، جیم و کاتفورث (Jame and Cutforth, 2004)، یین و همکاران (Yin *et al.*, 1995)، سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2006). از مدل بتا برای تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی استفاده کردند. درخشان و همکاران (Derakhshan *et al.*, 2013) مدل دندان مانند را به عنوان مدل برتر در برآورد روند جوانه‌زنی بذر فالاریس (Phalaris minor) گزارش نمودند و دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی را به ترتیب ۴/۶۹، ۲۲/۶، ۲۹/۶۲ و ۳۸/۱۳ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. رومن و همکاران (Roman *et al.*, 1999). دماهای کاردینال بذرهای سلمه تره (*Chenopodium album*) را محاسبه کردند که در آن دمای پایه، مطلوب و سقف برای این گیاه را به ترتیب ۰، ۳۰ و ۴۲ درجه سانتی‌گراد گزارش کردند.

نتایج این مطالعه نشان داد که در شرایط فقدان عامل محدودکننده (آب)، جوانه‌زنی بذور بروموس به شدت تحت تأثیر دما قرار گرفت. دماهای کاردینال

برآورد دماهای کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی بذر ...



شکل ۱- سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی شده (خطوط) در مقابل مشاهده شده (نمادها) در علف‌هرز بوموس ژاپنی در دماهای ثابت برای درصد‌های مختلف جوانه‌زنی

(D_{10} , D_{50} , D_{90}) با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، بتا (۴ پارامتره)، بتا (۵ پارامتره) و دندان مانند

Figure 1- Predicted (lines) vs. observed (symbols) germination rates in Japanese Brome at constant temperatures for different germination percentiles (D_{10} , D_{50} and D_{90}) using segmented, beta (four and five parameter) and Dent-like models

جدول ۲- پارامترهای برآورد شده با استفاده از مدل‌های دوگانه‌ای، بتا (۴ پارامتره و ۵ پارامتره) و دندان مانند برای درصد‌های مختلف جوانه‌زنی بذر پروموس ژاپنی
Table 2- Estimated parameters for the Segmented, Beta (4 and 5 parameter) and Dent-like models for different germination percentiles of *Bromus japonicus* seed.

Parameter ¹	Segmented					Beta, four					Beta, five parameter					Dent-like				
	D05	D10	D50	D90	D95	D05	D10	D50	D90	D95	D05	D10	D50	D90	D95	D05	D10	D50	D90	D95
T_b	1.73	0.92	1.22	-0.25	-0.30	2.54	2.22	2.67	2.34	2.36	0.29	1.00	1.03	0.29	0.36	1.40	0.82	0.51	-0.30	-0.33
T_o	10.7	11.7	10	10.4	10.2	15.3	16.1	13.5	14.2	14.2	12.9	15.4	12.2	12.9	13.1	-	-	-	-	-
T_c	40.7	42.2	42.8	47.8	49.4	36.4	37.0	38.2	41.2	41.6	3217	46.1	5524	3217	1381	37.8	38.2	43.4	47.6	49.3
T_{oi}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.03	4	2.3*	.03*	6.3	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
T_{o2}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.6	22.4	11.2	12.8	11.5
f_0	27.8	34.4	58.8	113.	126.	34.0	41.4	70.5	134.	148.	121.	39.5	61.3	121.	136.	34.3	43.1	61.9	120.	-
c	7	6	3	3	4	1	3	5	7	5	7	2	6	7	0	2	0	2	0	0
R^2	0.93	0.93	0.94	0.91	0.93	0.85	0.92	0.74	0.70	0.74	1.51	1.18	1.64	1.51	1.42	-	-	-	-	-
RMSE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.83	0.94	0.87	0.83	0.85	0.91	0.97	0.92	0.90	0.93
	26	19	12	06	05	40	21	25	12	09	32	19	17	09	07	12	12	13	06	6
AIC	375.	420.	426.	465.	482.	352.	389.	389.	437.	450.	360.	395.	400.	444.	458.	371.	423.	427.	463.	481.
	4	5	9	4	3	4	2	2	2	7	4	6	4	0	5	9	3	4	4	6
AICc	379.	424.	430.	469.	486.	356.	392.	392.	440.	454.	364.	399.	404.	448.	462.	376.	427.	431.	467.	485.
	2	3	7	2	0	2	9	9	9	5	6	7	5	2	7	0	5	5	6	7
Δi	0	3.2	0.87	0	0	23	34.5	38.5	28.2	31.5	14.6	27.7	26.9	21.0	23.3	3.2	0	0	1.6	0.3

T_b = base temperature, T_o = optimum temperature, T_c = maximum temperature, T_{oi} = lower limit of optimum temperature, T_{o2} = upper limit of optimum temperature, f_0 = minimum time to reach a given percentile, c = parameter of beta function, R^2 = coefficient of regression, RMSE = Root Mean of Squares of Error, AIC = Akaike Information Criterion, AICc = Corrected Akaike Information Criterion, and i = AIC differences.

برآورد دماهای کاردینال و زمان حرارتی مورد نیاز برای جوانه‌زنی بذر ...

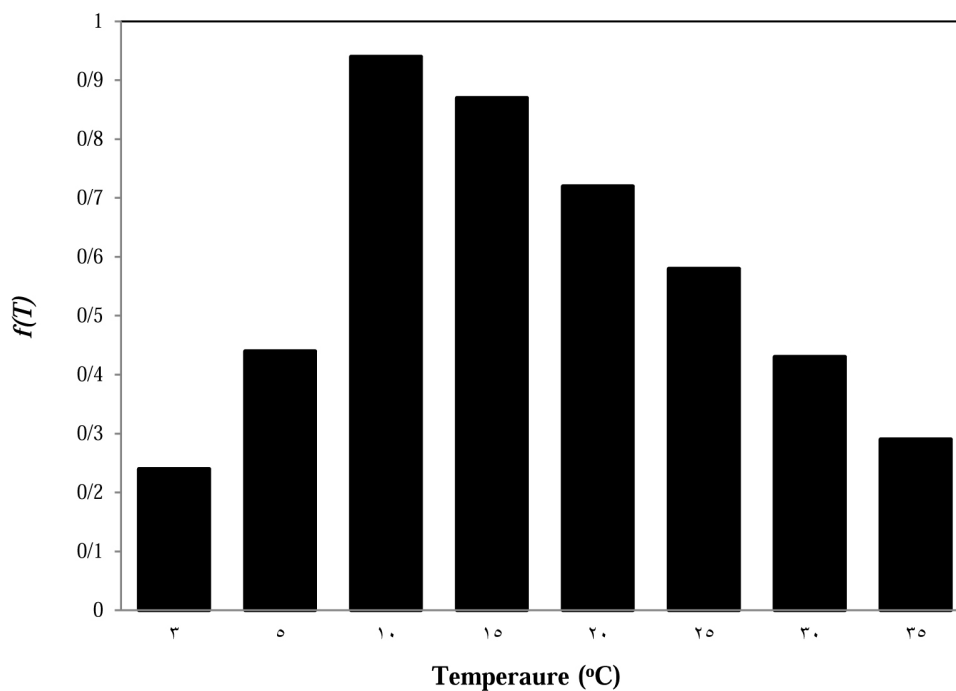
جدول ۳- نتایج آمار توصیفی روی دماهای کاردینال برآورد شده توسط مدل‌های مختلف.

Table 3- Descriptive statistics results on estimated cardinal temperatures by different models

Cardinal temperature	Statistical indices	Model			
		Segmented	Beta, 4 parameter	Beta, 5 parameter	Dent-like
T_b	Mean	0.66	2.43	0.59	0.42
	Range	1.43	0.45	0.74	1.07
	Standard deviation	0.81	1.20	0.34	0.66
T_o	Mean	10.6	14.66	13.3	10-15.7*
	Range	1.7	2.6	3.2	0-11.2*
	Standard deviation	0.73	0.92	0.99	0-4.80*
T_c	Mean	44.58	38.88	-	43.26
	Range	8.7	5.2	-	11.5
	Standard deviation	3.39	2.14	-	4.70

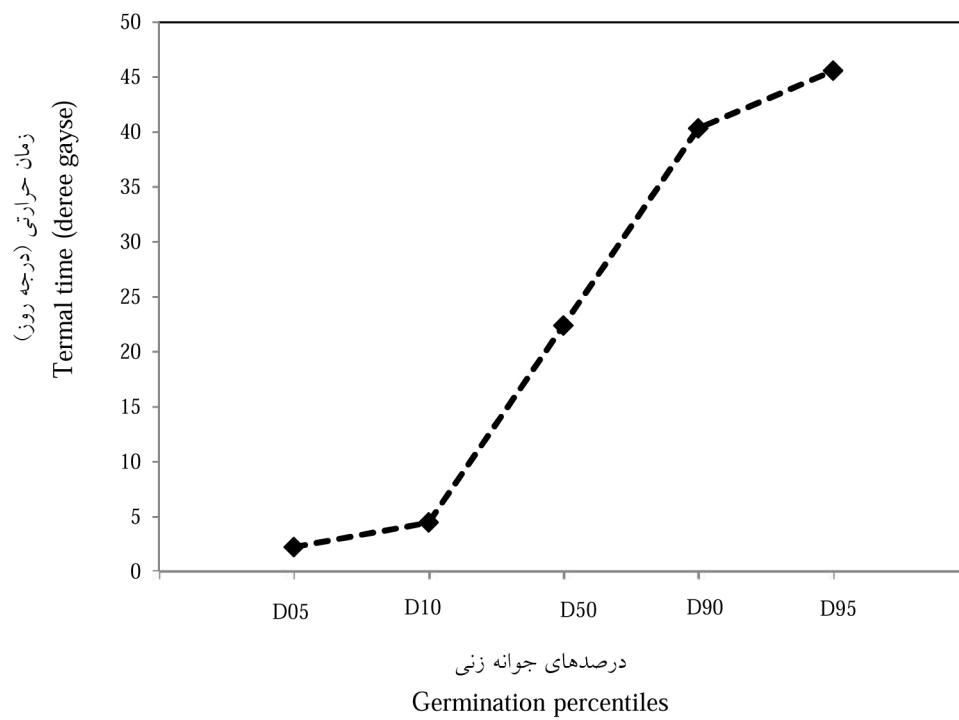
* حد بالا و پائین دمای مطلوب بر اساس مدل دندان مانند.

* Lower and upper limits of optimal temperature based on dent-like model



شکل ۲- مقادیر $f(T)$ برای دماهای ثابت مختلف بر اساس مدل دو تکه‌ای

Figure 2- $f(T)$ values for different constant temperatures on thebase of segmented model



شکل ۳- زمان حرارتی (درجه-روز) موردنیاز برای درصدهای مختلف جوانه‌زنی

Figure 3- Thermal time (degree-days) required for different germination percentiles

References

فهرست منابع

- Adim, H. 2009.** Advanced weed survey and mapping of weeds in Baloochestan using Geographic Information System (GIS). Final Report. Agriculture and Natural Resources Center of Baloochestan (Iranshahr). (in Persian).
- Alvarado, V. and K.J. Bradford. 2002.** A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell and Environment Journal*. 25: 1061-1069.
- Bakhshandeh, E., R. Ghadiryan, S. Galeshi and E. Soltani. 2011.** Modelling the effects water stress and temperature on seed germination of soybean (*Glycine max L.*) and Velvetleaf (*Abutilon theophrasti med.*). *Plant Production*. 18:1. (in Persian).
- Baskin, J. M. and C. C. Baskin. 2004.** A classification system for seed dormancy. *Seed Science Res.*14: 1-16.
- Baskin, J. M. and C. C. Baskin. 1981.** Ecology of germination and flowering in the weedy winter annual grass *Bromus japonicus*. *Journal of Range Management*. 34:369-372
- Burnham, K. P. and R. Anderson. 2002.** Model selection and inference: A practical information-theoretical approach. New York: Springer-Verlag.
- Caswell, H., R. Lensink and M.G. Neubert. 2003.** Demography and dispersal: life table response experiments for invasion speed. *Journal of Ecology*, 84: 1968-1978.
- Chauhan, B.S. and D. E. Johnson. 2009.** Germination ecology of spiny (*Amaranthus spinosus*) and slender amaranth (*A. viridis*): troublesome weeds of direct seeded rice. *Weed Science*. 57:379-85.
- Derakhshan, A. and J. Gherekhloo. 2013.** Factors affecting *Cyperus difformis* seed germination and seedling emergence. *Planta Daninha*, 31: 823-932.
- Derakhshan, A., J. Gherekhloo, A. Ribas and D. P. Rafael. 2014.** Quantitative Description of the Germination of Littleseed Canarygrass (*Phalaris minor*) in Response to Temperature. *Weed Science*. 62:250-257.
- Ferner, M. and K. Thompson. 2005.** *The Ecology of Seed*. Cambridge University Press. 262 Pp.
- Forcella, F. 1998.** Real-time assessment of seed dormancy and seedling growth for weed management. *Seed Science Research*. 8: 201-209.
- Forcella, F., R. L. Benech Arnold, R. Sanchez and C.M. Ghera. 2000.** Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*.67: 123-139.
- Ghaderi, F., A. Soltani and H. R. Sadeghipour. 2008.** Cardinal temperatures of germination in medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo. convar. pepo var. styriaca*), borago (*Borago officinalis L.*) and black cumin (*Nigella sativa L.*). *Asian Journal of Plant Science*. 7: 574-578.
- Ghaderi-Far, F., J. Gherekhloo and M. Alimaghani. 2010.** Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of yellow sweet clover (*Melilotus officinalis*). *PlantaDaninha*, 28:463-469.
- Hakansson, I., A. Myrbeck and E. Ararso. 2002.** A review of research on seedbed

- preparation for small grains in Sweden. *Soil Tillage Research*. 64: 23-40.
- Hardegree, S. P. 2006.** Predicting germination response to temperature. I. Cardinal-temperature models and subpopulation-specific regression. *Annals of Botany*, 97: 1115-1125.
- Jame, Y. W. and H. W. Cutforth. 2004.** Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. *Agricultural and Forest Meteorology*. 124: 207-218.
- Kamkar, B., M. Ahmadi, A. Mahdavi-Damghani and F. J. Villalobos. 2012.** Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using non-linear regression models. *Industrial Crop and Products*. 35:192-198.
- Khalili, N., A. Soltani, E. Zeinali and F. Ghaderifar. 2013.** Evaluation of nonlinear regression models to quantify barley germination rate response to temperature and water potential. *Electronic Journal of Crop Production*. Vol. 7 (4):23-40
- Koger, C. H., K. N. Reddy and D. H. Poston. 2004.** Factors affecting seed germination, seedling emergence, and survival of texas weed (*Caperonia palustris*). *Weed Science*. 52:989-995.
- Li, Q., T. Jinni, W. Li, G. Yuan, L. Du, S. Ma and J. Wang. 2015.** Effects of Environmental Factors on Seed Germination and Emergence of Japanese Brome (*Bromus japonicus*). *Weed Science*. 63(3): 641-646.
- Li, YH. 1998.** Weeds of China. 1st edi, Volume 2. Weeds of Seed Plants. China Agriculture Press. Pp 1180-1181.
- Masin, R., M. C. Zuin, D. W. Archer, F. Forcella and G. Zanin. 2005.** Weed turf: a predictive model to aid control of annual summer weeds in turf. *Weed Science*. 53:193-201.
- McMaster, G. S. and W. W. Wilhelm. 1998.** Is soil temperature better than air temperature for predicting winter wheat phenology. *Agronomy Journal*. 90: 602-607.
- Piper, E. L., K. J. Boote, J. W. Jones and S. S. Grimm. 1996.** Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science*. 36: 1606-1614.
- Roman, E. S., A. G. Thomas, S. D. Murphy and C. G. Swanton. 1999.** Modeling Germination and seedling elongation of common lamb squatters (*Chenopodium album*). *Weed Science*. 47: 149-155.
- Shafii, B. and W.J. Price. 2001.** Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*. 6: 356-366.
- Soltani, A. and V. Maddah. 2010.** Simple, applied programs for education and research in agronomy. Niak Press. P. 80.
- Soltani, A., E. Zeinali, S. Galeshi and N. Latifi. 2001.** Genetic variation for and interrelationships among seed vigor traits in wheat from the Caspian Sea Coast of Iran. *Seed Science and Technology*. 29: 653-662.

- Soltani, A., F. Ghaderi-Far and E. Soltani. 2008.** Application of germination in response to temperature and water potential in seed Science Research the first National Conference Sci and Technol of sedds. Gorgan, Iran, 12-13 November.
- Soltani, A., M. J. Robertson, B. Torabi, M. Yousefi-Dazand R. Sarparast. 2006.** Modeling seedling emergence in chickpea as affected by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Meteorology. 138: 156-167.
- Steinmaus, S. J., T. S. Prather and J. S. Holt. 2000.** Estimation of base temperature for nine weed species. Journal of Experimental Botany. 51: 275-286.
- Tanveer, A., M. Tasneem, A. Khaliq, M. M. Javaid and M. N. Chaudhry. 2013.** Influence of seed size and ecological factors on the germination and emergence of field bindweed (*Convolvulus arvensis*). Planta Daninha 31:39–51.
- Timmermans, B. G. H., J. Vos, J. van Nieuwburg, T.J. Stomph and P. E. L. Van der Putten. 2007.** Germination rates of *Solanum sisymbriifolium*: temperature response models, effects of temperature fluctuations and soil water potential. Seed Science Research. 17: 221–231.
- Vidal, R. A., A. Kalsing, I.C.G.R. Goulart, F.P. Lamego and P.J. Christoffoleti. 2007.** Impacto da temperatura, irradiância e profundidade das sementes na emergência e germinação de *Conyza bonariensis* e *Conyza canadensis* resistentes ao glyphosate. Planta Daninha, 25:309–315.
- Wang, M.F. 1986.** Occurrence, spread and control of Japanese brome in the wheat. Weed Science. 2: 3–5.
- Wang, R., Y. Bai and K. Tanino. 2005.** Germination of interfaith seeds at reduced water potential: testing assumptions of hydrothermal time model. Environ. Exp. Bot. 53: 49-63. in plants: An overview. Environmental and Experimental Botany. 61, 199–223.
- Wei, M. 2010.** Biological characteristics of Japanese brome observed in the wheat of Zhuanglang country. Gansu. Journal of Agricultural Science and Technology. 8:30–31.
- Wilkins, P. and U. Singh, 2001.** A code-level analysis for temperature effects in the CERES models. p.1-7. In: J. White (Ed.). Modeling Temperature Response in Wheat and Maize, CIMMYT, El Batan, Mexico.
- Yan, W. and L. A. Hunt. 1999.** An Equation for Modelling the temperature response of plants using only the cardinal temperatures. Annals of Botany. 84: 607-614.
- Yin, X., M.J. Kropff, G. McLaren and R.M. Visperas. 1995.** A nonlinear model for crop development as a function of temperature. Agricultural and Forest Meteorology. 77: 1–16.
- Zhou, J., B. Tao, E. L. Deckard and C.G. Messersmith. 2006.** Garden huckleberry (*Solanum melanocerasium*) germination, seed survival, and response to herbicides. Weed Science. 54:478–483.