

کمی‌سازی و تحلیل واکنش‌های جوانه‌زنی گیاه دارویی مرزه به تنش شوری

نقیسه خلیلی^۱، بهنام کامکار^{۲*}، امیرحسین خدابخشی^۳

۱ و ۳. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
۲. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۳/۰۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۶/۱۷

چکیده

امروزه گیاهان دارویی از جمله گیاهان مهم اقتصادی در دنیا هستند، درحالی‌که اطلاعات پایه‌چندانی در مورد بسیاری از این گیاهان وجود ندارد. این مطالعه به منظور کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis L.*) نسبت به دما و تنش شوری انجام شد. بدین منظور جوانه‌زنی این گیاه تحت تأثیر تیمارهای دمایی (۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) و غلظت‌های شوری (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl) در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۲ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد تأثیر دما، تنش شوری و اثر متقابل آن‌ها بر حداکثر درصد جوانه‌زنی (MGR)، سرعت جوانه‌زنی (R_{50}) و زمان رسیدن به ۱۰٪ (D_{10})، ۵۰٪ (D_{50}) و ۹۰٪ (D_{90}) حداکثر جوانه‌زنی معنی‌دار بود. با افزایش غلظت شوری آب، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. همچنین با افزایش دما تا دمای مطلوب درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش و پس‌از آن کاهش یافت. با ارزیابی سه مدل رگرسیون غیرخطی شامل مدل دوتکه‌ای، دندان‌مانند و بتا، مدل بتا به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد. در شوری صفر، دماهای کاردینال شامل دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف به ترتیب ۸، ۲۴/۷۷ و ۴۱ درجه سانتی‌گراد و زمان بیولوژیک ۸۳/۶۸ ساعت (شاهد) برآورد شد. دماهای بهینه و سقف تحت تأثیر غلظت شوری قرار نگرفتند، اما دمای پایه و زمان بیولوژیک جوانه‌زنی به ازای افزایش هر ۲۵ میلی‌مولار غلظت شوری به ترتیب ۱/۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش و ۱/۶۵ ساعت افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: توابع دمایی، دماهای کاردینال، زمان بیولوژیک، مدل بتا، رگرسیون غیرخطی.

مقدمه

اولیه گیاه در عملکرد نهایی تأثیر زیادی دارد، تنش شوری می‌تواند در مرحله گیاهچه‌ای برای گیاه بسیار مضر باشد (Rauf et al., 2007). یکی از مراحل حساس گیاه به تنش شوری مرحله جوانه‌زنی است (Kader and Jutzi, 2004). سرعت زیاد تجمع نمک در سلول‌های در حال نمو از دلایل حساسیت گیاه به شوری در مرحله جوانه‌زنی است (Farokhi and Galeshi, 2005). شوری از طریق سمیت عناصر، اختلال در جذب عناصر و کاهش پتانسیل آب بر جوانه‌زنی و رشد گیاهچه گیاهان زراعی تأثیر می‌گذارد، اگر چه در بین گیاهان و حتی ارقام یک گونه زراعی از لحاظ واکنش به شوری تنوع وجود دارد (Rehman et al., 1999). مطالعات متعدد نشان داده است که درصد و سرعت

شوری یکی از عوامل عمده محیطی است که تولید محصولات زراعی را کاهش می‌دهد (Serrano et al., 1999). بالغ بر هشت میلیون هکتار از زمین‌های جهان تحت تأثیر شوری قرار دارند (Munns, 2005). از طرف دیگر کشور ما در منطقه خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده است و حدود ۱۵ درصد از کل اراضی زراعی کشور تحت تأثیر شوری قرار دارند، بنابراین مشکل شوری بایستی مورد توجه قرار گیرد. دامنه تحمل گیاهان نسبت به شوری متفاوت است و انتخاب گیاه برای کشت در زمین‌های شور باید از دیدگاه‌های مختلف مورد بررسی قرار گیرد (Khan, 2003 and Gulzar). اگرچه تنش شوری در تمام مراحل رشدی گیاه می‌تواند رخ دهد، اما با توجه به این‌که استقرار

اکرم قادری و همکاران (Akram-Ghaderi, 2008) نیز در ارزیابی مدل‌های رگرسیون غیرخطی در کمی‌سازی سرعت جوانه‌زنی سه گیاه دارویی کدو تخم کاغذی، سیاه‌دانه و گاوزبان به دما مدل دندان‌مانند را به‌عنوان مدل برتر تعیین کردند. این مطالعه با هدف کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی گیاه دارویی مرزه در غلظت‌های مختلف شوری و تعیین دماهای کاردینال و زمان بیولوژیک جوانه‌زنی در این گیاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال ۱۳۹۲ در آزمایشگاه تحقیقات بذور دانشکده تولید گیاهی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان بر روی گیاه مرزه انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل دما در شش سطح (۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد) و غلظت شوری در پنج سطح (صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ میلی‌مولار NaCl)، به‌صورت تجزیه مرکب در مکان با سه تکرار انجام شد. قابل‌ذکر است که اثر مکان در تجزیه مرکب ثابت بود، به‌طوری‌که دما به‌عنوان محیط و غلظت شوری به‌عنوان تیمار داخل محیط در نظر گرفته شد. تیمارهای دمایی توسط انکوباتور، با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد تأمین گردید. غلظت‌های شوری با استفاده از NaCl تهیه شدند. برای هر تکرار ۵۰ عدد بذر گیاه مرزه استفاده شد. بذور با قرار گرفتن در محلول وایتکس ۱۰ درصد به مدت ۵ دقیقه ضدعفونی شده و پس از شستشو با آب مقطر بر روی یک لایه کاغذ صافی، داخل پتری‌دیش قرار گرفته و با استفاده از محلول‌های تهیه‌شده آبیاری شدند. برای تیمار شاهد از آب مقطر استفاده شد. سپس پتری‌دیش‌ها داخل ۶ انکوباتور با دماهای ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. شمارش بذور جوانه‌زده بسته به دمای مورد استفاده، در بازه‌های زمانی متفاوت انجام گرفت و هر بار بذورهای جوانه‌زده از محیط جوانه‌زنی خارج شدند. بدیهی است که در دماهای نزدیک‌تر به دمای بهینه؛ بازه زمانی شمارش، کوچک‌تر است. معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه دو میلی‌متر یا بیشتر بود. پایان شمارش زمانی بود که در طی ۴۸ ساعت متوالی هیچ بذری جوانه نزنند و یا این‌که کل بذور جوانه نزنند. در طول آزمایش در صورت نیاز، به تیمارها آب مقطر اضافه شد.

جوانه‌زنی بذور با افزایش شوری کاهش می‌یابد (Soltani et al., 2002). قادری فر و همکاران (Ghaderi-Far et al., 2012) با بررسی اثر شوری بر جوانه‌زنی شش گیاه دارویی بیان داشتند در گیاهان موردبررسی تحت تنش شوری سرعت جوانه‌زنی به‌طور خطی کاهش یافت و در مقایسه با درصد جوانه‌زنی حساسیت بیشتری نشان داد. ایشان همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، گلرنگ و کتان را مقاوم به شوری، رازیانه و سیاه‌دانه را نیمه مقاوم و آرتیشو^۱ و ماریتیغال^۲ را حساس به شوری در مرحله جوانه‌زنی طبقه‌بندی کردند. مصطفوی و حیدریان (Mostafavi and Heidarian, 2013) در بررسی تأثیر تنش شوری بر جوانه‌زنی و شاخص‌های آن در چهار رقم آفتابگردان بیان کردند با افزایش شوری تمامی صفات موردبررسی از جمله درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت.

مرزه (*Satureja hortensis* L.) گیاهی یک‌ساله و علفی متعلق به خانواده نعنائیان است که به‌عنوان گیاه دارویی در ایران مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به این‌که در سال‌های اخیر مصرف گیاهان دارویی در دنیا افزایش یافته است، از این‌رو سطح زیر کشت این گیاهان نیز رو به افزایش است؛ این در حالی است که اطلاعات زیادی در ارتباط با واکنش جوانه‌زنی گیاهان دارویی به عوامل محیطی، دماهای کاردینال و دیگر پارامترهای جوانه‌زنی وجود ندارد. جوانه‌زنی بذر به‌خصوص در زمان روپارویی با تنش‌های محیطی یکی از بحرانی‌ترین مراحل زندگی گیاهان است (Windauer et al., 2007). مدل‌های ریاضی متعددی برای توصیف الگوی جوانه‌زنی در واکنش به شرایط محیطی ارائه شده‌اند (Covell et al., 1986). برخی از این مدل‌ها برای پیش‌بینی واکنش جوانه‌زنی تجمعی به کار می‌روند و قادر به پیش‌بینی دماهای کاردینال و ضرایب مدل برای مقایسه توده‌های بذری نیز می‌باشند (Hardeegree, 2006 and Winstral). از این میان سه تابع دوتکه‌ای، بتا و دندان مانند برای بررسی واکنش جوانه‌زنی بذرها به دما بیشتر از بقیه مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Soltani et al., 2006; Akram-Ghaderi, 2008; Kamkar et al., 2012). کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2012) مطالعه گیاه دارویی خشخاش از مدل‌های رگرسیون غیرخطی در پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی استفاده کردند.

¹ *Cynara scolymus*

² *Silybum marianum*

$$f(T)=0 \quad \text{اگر} \quad T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \quad (۵)$$

در این توابع T_b دمای پایه، T_{o1} دمای مطلوب تحتانی، T_{o2} دمای مطلوب فوقانی، T_o دمای مطلوب، T_c دمای سقف، f_o و a ضریب ثابت و T دمای متوسط روزانه (دمای مورد آزمایش) می‌باشند.

تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری به کمک رویه PROCNLIN در نرم‌افزار SAS صورت گرفت. 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 می‌گیرد که بهترین برآورد از پارامترها به دست آید. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس خطای معیار (SE) کمتر پارامترها و جذر میانگین مربعات انحراف (RMSE) کمتر رگرسیون مشخص می‌شود (Akram-Ghaderi, 2008). برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مورد استفاده، از جذر میانگین مربعات انحرافات (RMSE) برای زمان جوانه‌زنی، ضریب تبیین (R^2)، ضریب همبستگی (r)، ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b) در رابطه زمان (ساعت) تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده استفاده شد. هرچقدر ضریب تبیین (R^2) مدل مورد استفاده بزرگ‌تر باشد نشان‌دهنده این است که مدل درصد تغییرات سرعت جوانه‌زنی را بیشتر توجیه می‌کند. ضرایب a و b به ترتیب نشان‌دهنده میزان انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و میزان اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ است. مقدار عددی ضرایب a و b توسط نرم‌افزار SAS تعیین شد. معنی‌داری ضریب a توسط نرم‌افزار SAS و معنی‌داری ضریب b با تعیین حدود اطمینان بررسی شد. معنی‌داری ضریب a به این معنا است که عرض از مبدأ خط رگرسیون از عرض از مبدأ خط ۱:۱ اریبی دارد. معنی‌داری ضریب b به این معنا است که شیب خط رگرسیون از شیب خط ۱:۱ فاصله دارد و خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب است (Ahmadi et al., 2010). هر چه پراکنش نقاط در اطراف خط یک به یک کمتر باشد نشانه کارایی بالاتر مدل است.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس درصد جوانه‌زنی (G_{max})، سرعت جوانه‌زنی (R_{50})، زمان رسیدن به ۱۰٪ (D_{10})، ۵۰٪ (D_{50}) و ۹۰٪ (D_{90}) حداکثر جوانه‌زنی نشان داد که تأثیر دما،

برای محاسبه درصد، سرعت و زمان جوانه‌زنی از نرم‌افزار GS-2011 (Kamkar, 2011) استفاده شد. این نرم‌افزار تابع لجستیک را به داده‌های جوانه‌زنی در برابر دما برازش داده و از طریق درون‌یابی محاسبات لازم را انجام می‌دهد. در کلیه تیمارهای دمایی، برای هر تکرار منحنی پیشرفت جوانه‌زنی در مقابل زمان (ساعت) ترسیم و زمان لازم برای ۵۰ درصد (D_{50}) حداکثر جوانه‌زنی از طریق درون‌یابی برآورد گردید. همچنین سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Soltani et al., 2012).

$$R_{50}=1/D_{50} \quad (۱)$$

که در آن R_{50} سرعت جوانه‌زنی و D_{50} زمانی است که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد.

برای تعیین دماهای کاردینال و زمان بیولوژیک جوانه‌زنی نیز از رابطه زیر استفاده شد (Soltani et al., 2006):

$$1/e = f(T)/f_o \quad (۲)$$

که در آن $1/e$ سرعت جوانه‌زنی و f_o زمان بیولوژیک مورد نیاز برای جوانه‌زنی می‌باشد. زمان بیولوژیک جوانه‌زنی عبارت است از زمان لازم برای جوانه‌زنی در شرایط دمای مطلوب و $f(T)$ تابع دما است که بین صفر (در دمای پایه) و یک (در دمای مطلوب) تغییر می‌کند.

توابع دمایی نیز از روابط ۳ تا ۶ تبعیت نمودند.

۱- تابع بتا^۱ با علامت اختصاری (B) که معادله آن به صورت زیر است (Yin et al., 1995):

$$f(T)=((T-T_b/T_o-T_b)*(T_c-T/T_c-T_b))^{((T_c-T_o/T_o-T_b))^a} \quad (۳)$$

۲- تابع دندان مانند^۲ با علامت اختصاری (D) که معادله آن به صورت زیر است (Piper et al, 1996):

$$f(T)= (T-T_b)/(T_{o1}-T_b) \quad \text{اگر} \quad T_b < T < T_{o1}$$

$$f(T)= (T_c-T)/(T_c-T_{o2}) \quad \text{اگر} \quad T_{o2} < T < T_c$$

$$f(T)= 1 \quad \text{اگر} \quad T_{o1} \leq T \leq T_{o2}$$

$$f(T)= 0 \quad \text{اگر} \quad T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \quad (۴)$$

۳- تابع دوتکه‌ای^۳ با علامت اختصاری (S) که معادله آن به صورت زیر است (Tan et al., 1977):

$$f(T)= (T-T_b)/(T_o-T_b) \quad \text{اگر} \quad T_b < T < T_o$$

$$f(T)= 1-(T-T_o)/(T_c-T_o) \quad \text{اگر} \quad T_o \leq T < T_c$$

1. Beta Original

2. Dent-like

3. Segmented

غلظت شوری و اثرات متقابل دما و غلظت شوری بر پارامتر-های ذکرشده در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود (جدول ۱). با افزایش غلظت شوری آب، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. با افزایش دما تا دمای مطلوب درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش و بعد از آن کاهش یافت، اما حساسیت این مؤلفه‌ها به غلظت شوری آب بیشتر از دما بود. در همه دماها با افزایش غلظت شوری آب، حداکثر درصد جوانه‌زنی کاهش و زمان شروع جوانه‌زنی افزایش یافت، اما میزان این تغییرات در همه دماها یکسان نبود؛ به طوری که با افزایش دما تا دمای مطلوب میزان این تغییرات کاهش یافته و در دمای مطلوب به حداقل خود رسید، سپس با افزایش دما این تغییرات افزایش یافت، به طوری که در غلظت‌های مختلف شوری آب با افزایش دما از ۱۲ به ۲۰ درجه سانتی‌گراد، زمان شروع جوانه‌زنی کاهش و حداکثر درصد جوانه‌زنی افزایش و سپس با ادامه افزایش دما از ۲۰ به ۳۵ درجه سانتی‌گراد، افزایش یافت (شکل ۱). شوری از طریق کاهش پتانسیل آب، سمیت یون‌های خاص از قبیل سدیم و کلر و همچنین کاهش یون‌های غذایی مورد نیاز گیاه مانند کلسیم و پتاسیم بر جوانه زدن بذور و رشد آن‌ها تأثیر می‌گذارد

(Khan and Gulzar, 2003). این تأثیر در گیاهان شورزیست معمولاً به‌خاطر اثر اسمزی است، حال آنکه این کاهش در گیاهان غیر شورزی حاصل اثر سمیت یونی نیز می‌باشد. همچنین انعقاد پروتئین و اختلال در کار غشاهای از جمله عواملی هستند که باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی بذور در دماهای بالاتر از دمای مطلوب می‌شوند (Bradford, 2002). تیگرسون و همکاران (Thygerson et al., 2002) نیز کاهش کارایی متابولیکی بذور را از دیگر عوامل کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بالاتر از دمای مطلوب گزارش کردند.

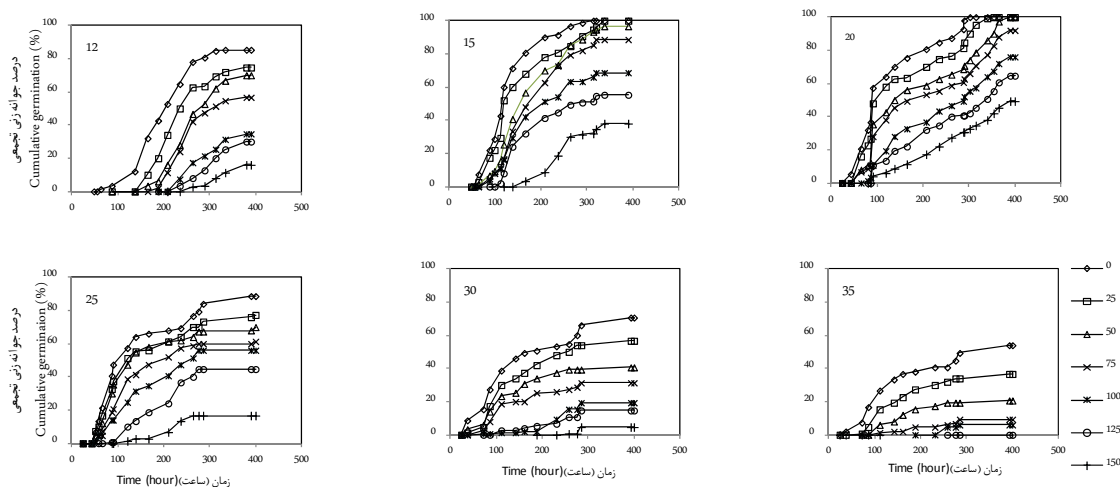
مجذور میانگین مربعات انحراف (RMSE)، ضریب تبیین (R^2)، ضرایب رگرسیون (a و b) و رابطه زمان (ساعت) تا جوانه‌زنی مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده معیارهای موردبررسی در مقایسه مدل‌های استفاده‌شده برای انتخاب مدل برتر در توصیف سرعت جوانه‌زنی به دما در پتانسیل-های مختلف آب بودند (جدول ۲). با مقایسه این معیارها مشاهده شد که ضریب رگرسیون a (میزان انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات) در غلظت‌های صفر (شاهد) و ۲۵ میلی‌مولار شوری آب در مدل دوتکه‌ای به ترتیب در

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس درصد جوانه‌زنی (Gmax)، سرعت جوانه‌زنی (R_{50})، زمان رسیدن به ۱۰٪ (D_{10})، ۵۰٪ (D_{50}) و ۹۰٪ (D_{90}) حداکثر جوانه‌زنی.

Table 1. ANOVA results for maximum germination percentage (Gmax), germination rate (R_{50}), Time to 10 (D10), 50 (D50) and 90 (D90) percentage of maximum germination.

S.O.V	منابع تغییر	DF	Gmax	R_{50}	D_{10}	D_{50}	D_{90}
Temperature (T)	دما (T)	5	869.1**	101.12**	113.59**	102.77**	45.25**
Replication (Tempertaure) (E1)	تکرار داخل دما (E_1)	12	2.02 ^{ns}	0.28 ^{ns}	1.99 ^{ns}	0.64 ^{ns}	1.3 ^{ns}
Salinity level (S)	غلظت شوری (S)	6	589.67**	88.63**	67.08**	83.96**	6.86**
S × T	اثر متقابل (S*T)	30	9.20**	4.59**	8.91**	4.01**	5.26**
Error (E2)	خطا (E_2)	72	15.23	0.0000009	404.6	461.57	519.01

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱٪ را نشان می‌دهد. برای خطا مقادیر میانگین مربعات و برای دیگر منابع تغییر مقادیر F آورده شده است.
** Significant at 1% of probability level. For error, mean square values, while for other sources F value presented.



شکل ۱. درصد جوانه زنی تجمعی در دامنه ای از غلظت های شوری در دماهای ۱۲، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی گراد در برابر زمان بر حسب ساعت

Fig. 1. Cumulative germination percentage in a range of salinity levels and temperatures (12, 15, 20, 25, 30 and 35 °C) against time (hours)

جدول ۲. جذر میانگین مربعات اشتباه (RMSE)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب رگرسیون (a و b) برای مدل های مختلف رگرسیونی در غلظت های مختلف شوری (RMSE مربوط به زمان جوانه زنی و بر حسب ساعت می باشد). SE خطای استاندارد را نشان می دهد.

Table 2. Root Mean Square Error (RMSE), Coefficient of Variation (CV), determination Coefficient (R^2) and regression coefficients (a&b) for different regression models in different salinity levels (RMSE is related to germination time and is in terms of hours unit). SE is Standard Error..

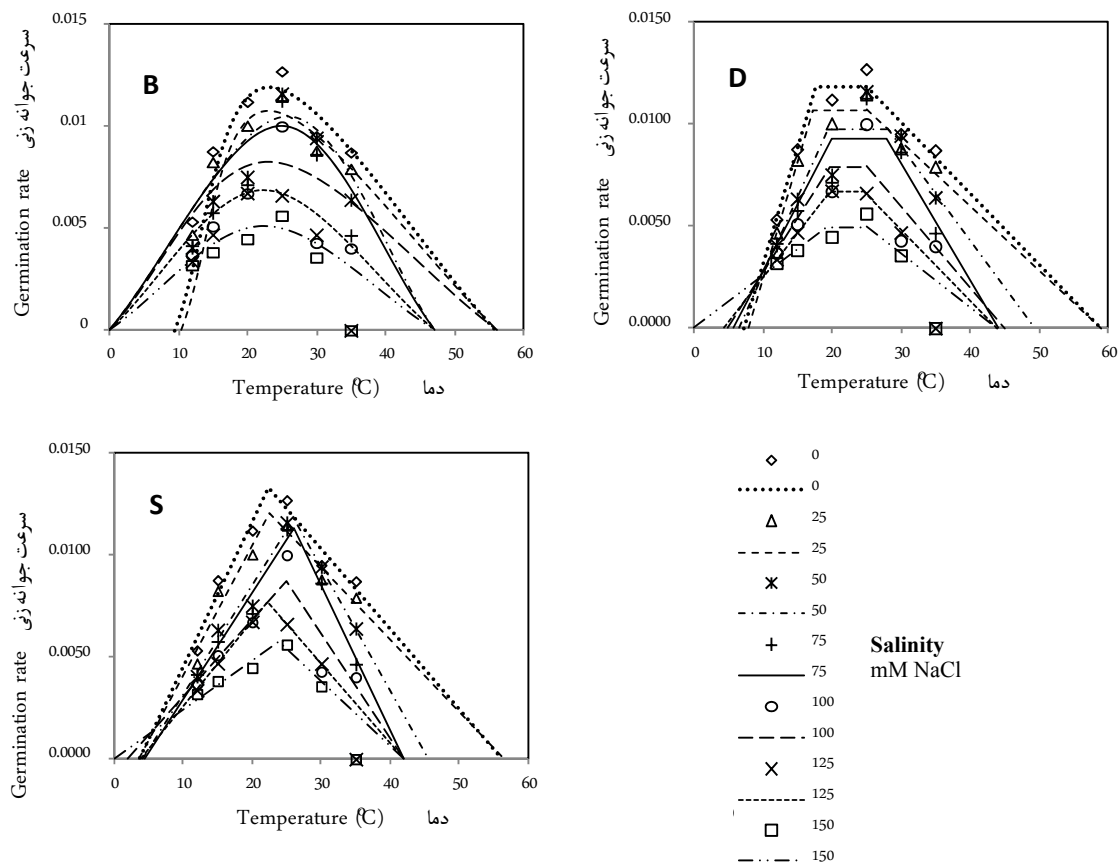
Model	مدل	S	RMSE	CV	R^2	a ± SE	b ± SE
بتا (Beta)	0	0	10.31	9.09	0.90	19.6±8.28	0.81±0.06
	25	25	15.34	12.32	0.81	35.91±11.27	0.68±0.08
	50	50	17.72	11.97	0.90	4.99 ± 12.63	0.96±0.08
	75	75	30.59	18.54	0.77	15.94 ± 21.14	0.90±0.11
	100	100	55.38	26.93	0.58	5.42 ± 44.66	0.99±0.21
	125	125	20.16	9.84	0.89	13.78 ± 19.58	0.92±0.09
	150	150	26.41	10.51	0.76	24.74 ± 35.49	0.89±0.14
دندان مانند (Dent-like)	0	0	8.27	7.19	0.95	4.07±6.65	0.96±0.05
	25	25	16.12	12.7	0.86	15.67±11.85	0.86±0.08
	50	50	19.36	13.3	0.87	12.17 ± 13.80	0.89±0.08
	75	75	28.97	18.35	0.71	39.07 ± 20.01	0.71*±0.11
	100	100	30.67	16.47	0.72	35.65 ± 24.73	0.74*±0.11
	125	125	19.19	9.42	0.89	21.37 ± 18.63	0.88±0.08
	150	150	22.10	8.81	0.79	44.95 ± 29.70	81±0.11
دوتکه ای (Segmented)	0	0	9.82	8.64	0.90	19.25* ± 7.89	0.81** ± 0.06
	25	25	15.64	12.53	0.80	37.1** ± 11.49	0.68** ± 0.08
	50	50	16.29	11.05	0.90	9.18 ± 11.61	0.92 ± 0.07
	75	75	27.44	16.98	0.78	27.25 ± 18.96	0.81 ± 0.1
	100	100	36.26	18.60	0.68	32.95 ± 29.25	0.80 ± 0.13
	125	125	18.83	9.22	0.89	21.66 ± 18.28	0.88 ± 0.08
	150	150	27.20	10.66	0.80	-3.88 ± 36.54	1.02 ± 0.14

* و ** در a نشان دهنده اختلاف معنی دار با صفر و در b نشان دهنده اختلاف معنی دار با ۱ است.

* and ** show significances with zero (for a) and unit (for b), respectively.

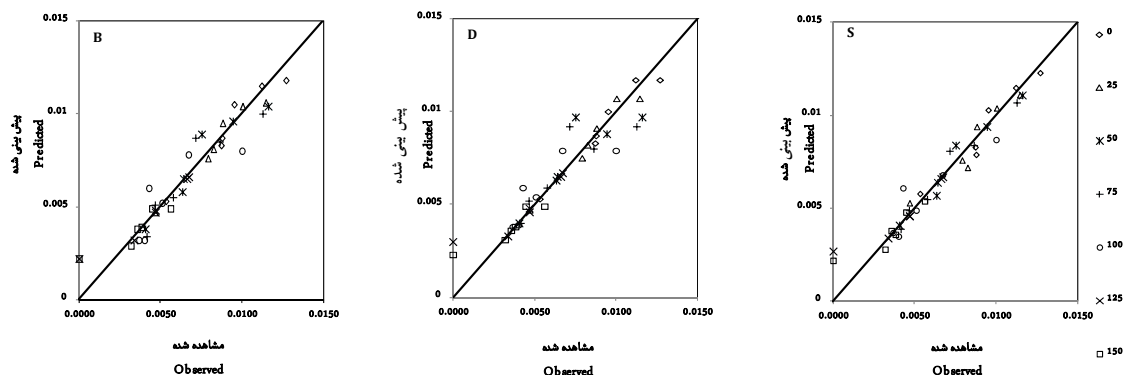
تقریباً یکسان است (جدول ۲). همچنین مشاهده شد که پراکندگی نقاط در اطراف خط یک به یک، در مدل‌های بتا و دوتکه‌ای کمتر از مدل دندان‌مانند است (شکل ۳). با در نظر گرفتن موارد ذکر شده، به نظر می‌رسد مدل بتا در مقایسه با مدل‌های دندان‌مانند و دوتکه‌ای برآزش بهتری از داده‌ها دارد، بنابراین به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد (شکل ۲). در مطالعات دیگر حیدری (2013, Heidari) در ارزیابی پاسخ جوانه‌زنی گیاه دارویی ماریتیغال به دما مدل بتا و حیدری (2013, Heidari) در مطالعه گیاه دارویی رازیانه مدل دندان‌مانند را در پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی این گیاه به‌عنوان مدل برتر معرفی کردند.

سطح ۵ و ۱ درصد معنی‌دار و در مدل‌های بتا و دندان‌مانند در همه پتانسیل‌ها غیر معنی‌دار است. همچنین ضریب b (میزان اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱) در مدل دندان‌مانند در غلظت‌های ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌مولار شوری آب در سطح ۵ درصد و در مدل دوتکه‌ای در غلظت‌های صفر (شاهد) و ۲۵ میلی‌مولار در سطح ۱ درصد معنی‌دار است و در مدل بتا در همه غلظت‌ها غیر معنی‌دار و مقدار عددی آن نیز نسبت به دو مدل دیگر به یک نزدیک‌تر است (جدول ۲). همچنین به‌طور کلی ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات انحراف (RMSE) برای زمان جوانه‌زنی و ضریب تغییرات (CV) در هر سه مدل در غلظت‌های مختلف شوری آب



شکل ۲. رابطه سرعت جوانه‌زنی با دما در غلظت‌های مختلف شوری با استفاده از مدل‌های بتا (B)، دندان‌مانند (D) و دوتکه‌ای (S). نمادها سطوح شوری را نشان می‌دهند.

Fig. 2. Relationship between germination rate and temperature in different salinity levels using Beta (B), Dent-like (D) and Segmented (S) models. Symbols are salinity levels.



شکل ۳. زمان تا جوانه‌زنی پیش‌بینی شده (ساعت) با استفاده از توابع بتا (B)، دندان‌مانند (D) و دوتکه‌ای (S) در برابر مقادیر مشاهده‌شده در غلظت‌های مختلف شوری. نمادها سطوح شوری را نشان می‌دهند.

Fig. 3. Observed against predicted time (hours) using Beta (B), Dent-like (D) and Segmented (S) models under different salinity levels. Symbols are salinity levels.

جدول ۳. برآورد ضریب ثابت a (برای مدل بتا)، دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_0)، دمای مطلوب تحتانی (T_{O1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{O2})، دمای سقف (T_c) و تعداد ساعت بیولوژیک (F_0) برای ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی در گیاه مرزه با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی مختلف در غلظت‌های مختلف شوری.

Table 3. Estimated values for constant coefficient of a (belonged to Beta model), base temperature (T_b), optimum temperature (T_0), lower limit (T_{O1}) and upper limit (T_{O2}) temperatures, ceiling temperature (T_c) and biological hours (F_0) for 50% of maximum germination in annual savory (*Satureja hortensis* L.) using different non-linear regression models under different salinity levels.

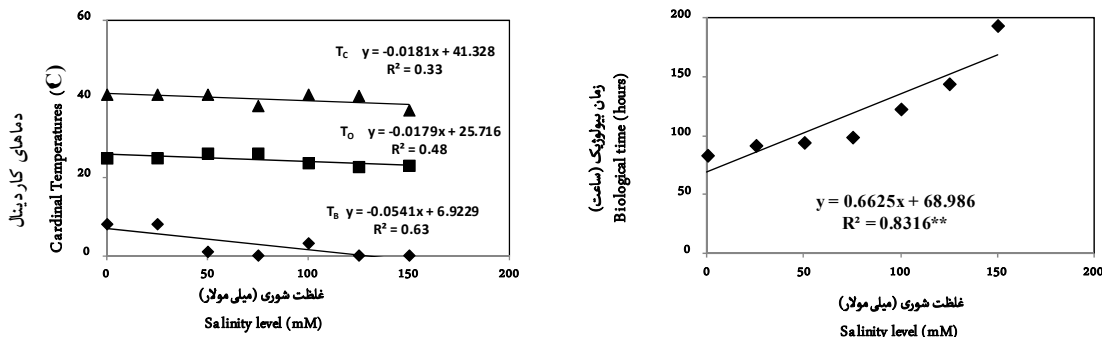
مدل model	S	a± SE	T_b ± SE	T_0 ± SE	T_c ± SE	F_0 ± SE
بتا (Beta)	0	0.82 ± 0.12	8.0 ± 0.0	24.77 ± 1.13	41.00 ± 0.00	83.68 ± 3.32
	25	0.82 ± 0.14	8.0 ± 0.0	24.81 ± 1.31	41.00 ± 0.00	92.07 ± 4.16
	50	2.27 ± 0.0	0.96 ± 8.3	26.00 ± 0.0	41.00 ± 0.00	94.58 ± 4.32
	75	2.36 ± 0.49	0.00 ± 0.00	26.00 ± 0.0	38.13 ± 2.61	99.08 ± 6.48
	100	2.15 ± 3.24	3.12 ± 1.36	23.55 ± 1.82	41.00 ± 0.00	123.0 ± 10.79
	125	2.81 ± 1.34	0.00 ± 0.00	22.56 ± 1.16	40.67 ± 16.14	144.4 ± 6.10
	150	1.88 ± 0.36	0.00 ± 0.00	22.90 ± 0.63	37.00 ± 0.00	193.9 ± 9.01
دوتکه‌ای (Segmented)	0	--	3.76 ± 1.98	22.51 ± 1.05	55.94 ± 6.1	75.21 ± 3.35
	25	--	3.64 ± 2.48	22.54 ± 1.31	56.53 ± 7.79	83.03 ± 4.55
	50	--	4.32 ± 1.67	26.14 ± 1.15	45.56 ± 3.81	84.85 ± 4.62
	75	--	4.37 ± 1.87	26.03 ± 0.81	42.00 ± 0.0	88.73 ± 3.85
	100	--	2.05 ± 5.02	25.00 ± 1.65	42.00 ± 0.0	114.6 ± 10.74
	125	--	3.87 ± 1.87	22.24 ± 0.95	42.10 ± 3.96	130.0 ± 6.53
	150	--	0.00 ± 0.00	23.94 ± 0.55	42.00 ± 0.0	173.3 ± 4.75
		T_b ± SE	T_{O1} ± SE	T_{O2} ± SE	T_c ± SE	F_0 ± SE
دندان‌مانند (Dent-Like)	0	7.35 ± 1.64	17.61 ± 1.2	25.00 ± 2.11	59.00 ± 0.00	84.75 ± 0.00
	25	8.00 ± 0.00	17.09 ± 0.74	25.00 ± 2.40	59.00 ± 0.00	93.30 ± 0.29
	50	6.64 ± 4.15	19.53 ± 3.76	28.00 ± 0.00	49.37 ± 7.02	102.3 ± 8.00
	75	5.85 ± 2.33	20.0 ± 0.00	28.00 ± 0.00	44.00 ± 0.00	108.1 ± 8.38
	100	5.00 ± 7.29	19.56 ± 5.43	25.00 ± 5.76	44.96 ± 8.84	125.9 ± 10.96
	125	4.32 ± 3.67	19.63 ± 2.63	24.4 ± 1.39	44.00 ± 0.00	148.4 ± 8.38
	150	0.00 ± 0.00	19.07 ± 0.00	25.00 ± 1.61	44.00 ± 0.00	201.8 ± 0.00

گیاه مرزه به دما و شوری آب تعیین شد. بر اساس مدل بتا در شوری صفر (شاهد) دمای پایه ۸/۰۰، دمای مطلوب ۲۴/۷۷ و دمای سقف ۴۱ درجه سانتی‌گراد و زمان بیولوژیک جوانه‌زنی معادل ۸۳/۶۸ ساعت بود. به‌طورکلی دماهای کاردینال جوانه‌زنی در گیاه مرزه با افزایش غلظت شوری کاهش یافت اما این کاهش در دمای پایه بیشتر از دماهای بهینه و سقف بود به‌طوری که دماهای پایه، بهینه و سقف در تیمار شاهد (شوری صفر) به ترتیب ۸، ۲۴/۷۷ و ۴۱ درجه سانتی‌گراد اما این دماها در غلظت شوری ۱۵۰ میلی-مولار به صفر، ۲۲/۹۰ و ۳۷ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. در گیاه مرزه کاهش دمای پایه و افزایش زمان بیولوژیک تحت تأثیر شوری معنی‌دار بود، به‌طوری که به ازای افزایش هر ۲۵ میلی‌مولار غلظت شوری دمای پایه به‌طور خطی ۱/۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش و زمان بیولوژیک جوانه‌زنی ۱/۶۵ ساعت افزایش یافت. کاهش دماهای کاردینال جوانه‌زنی تحت تأثیر شوری احتمال جوانه‌زنی زودهنگام و مواجه‌شدن گیاهچه با سرمای اول فصل در نتیجه کاهش سبز شدن و استقرار گیاهچه، همچنین کاهش جوانه‌زنی در کشت‌های دیر هنگام را باعث می‌شود از این‌رو به نظر می‌رسد افزایش میزان بذر مورد استفاده هنگام کشت و دقت کافی در تعیین زمان کشت بتواند اثرات منفی ناشی از شوری را بر جوانه‌زنی این گیاه کاهش دهد. مدل معرفی‌شده و ضرایب برآورد شده در مدل‌سازی واکنش جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه ارزشمند می‌باشند و امکان کمی‌سازی این مراحل را فراهم می‌آورند.

در مدل بتا که به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد در ۵۰ درصد جوانه‌زنی در غلظت شوری صفر (شاهد) دمای پایه برابر با ۸/۰۰ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب ۲۴/۷۷ درجه سانتی‌گراد، دمای سقف ۴۱ درجه سانتی‌گراد و زمان بیولوژیک جوانه‌زنی ۸۳/۶۸ ساعت برآورد شد (جدول ۳). همچنین مشاهده شد که با افزایش غلظت شوری آب، دمای سقف و دمای مطلوب به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر غلظت شوری قرار نگرفتند، اما اثر افزایش غلظت شوری آب بر دمای پایه در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود و با افزایش غلظت شوری به‌طور خطی کاهش یافت. به‌طوری‌که به ازای افزایش هر ۲۵ میلی‌مولار غلظت شوری دمای پایه ۱/۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت (شکل ۴). همچنین اثر افزایش غلظت شوری بر زمان بیولوژیک جوانه‌زنی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود و با افزایش غلظت شوری به‌طور خطی افزایش یافت، به‌طوری‌که به ازای افزایش هر ۲۵ میلی‌مولار غلظت شوری زمان بیولوژیک جوانه‌زنی ۱/۶۵ ساعت افزایش یافت (شکل ۴).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج این پژوهش دما و شوری آب بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی گیاه دارویی مرزه تأثیر معنی‌داری داشتند. با افزایش غلظت شوری آب، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. با افزایش دما تا دمای مطلوب درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش و بعد از آن کاهش یافت، اما حساسیت این مؤلفه‌ها به غلظت شوری آب بیشتر از دما بود. مدل بتا به‌عنوان مدل برتر در کمی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی



شکل ۴. تأثیر غلظت شوری (میلی‌مولار NaCl) بر دمای پایه (◇)، مطلوب (□) و دمای سقف (Δ) بر حسب درجه سانتی‌گراد و زمان بیولوژیک برای ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی با استفاده از مدل بتا.

Fig. 4. The effect of Salinity level (mM NaCl) on the base (◇), optimum (□) and ceiling (Δ) temperature(°C) and required biological time for 50% of maximum germination percentage using Beta model.

منابع

- Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A., Zeinali, E., 2010. Evaluation of non-Linear regression models to predict stem elongation rate of wheat (Tajan cultivar) in response to temperature and Photoperiod. *Electronic Journal of Crop Production*. 2 (4), 39-54. [in Persian With English summary].
- 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. dissertation, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. Iran, 180p. [in Persian With English summary].
- Brodford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*. 50, 248-260.
- Covell, S., Ellis, R., Roberts, E., Summerfield, R. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. *Journal of Experimental Botany*.. 37, 705-715.
- Farokhi, A., Galeshi, S., 2005. Evaluation of effect of salinity and seed size on germination, conversation of seed reserves and seedling growth soybean (*Glycin max*. L). *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 36 (5), 1233-1241. [in Persian With English summary].
- Ghaderi-Far, F., Akbarpour, W., Khavari, F., Ehteshamnia, A., 2012. Determination of salinity tolerance threshold in six medicinal plants. *Journal of. Plant Production Research*. 18, 4.15-24 [in Persian With English summary].
- Hardegree, S.P., 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. *Annals of Botany*. 97, 1115-1125.
- Hardegree, S.P., Winstral, A.H. 2006. Predicting Germination Response to Temperature. II. Threedimensional Regression, Statistical Gridding and Iterative-probit Optimization Using Measured and Interpolated-subpopulation Data. *Annals of Botany*. 98, 403-410.
- Heidari, Z., 2013. Quantification of the Cardinal Temperatures and Thermal Time Requirement of Milk thistle (*Silybum marianum*) Seeds to Germinate using Non-linear Regression Models. MSc. dissertation, Faculty of Agriculture, Damghan. Azad University, Iran, 65p. [in Persian With English summary].
- Heidari, Z. 2013. Quantification of the Cardinal Temperatures and Thermal Time Requirement of Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) Seeds to Germinate using Non-linear Regression Models. MSc. dissertation, Faculty of Agriculture, Damghan. Azad University. Iran, 70p. [in Persian With English summary].
- Kader, M., Jutzi, S. 2004. Effects of thermal and salt treatments during imbibition on germination and seedling growth of sorghum at 42/19°C. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 190, 35-38.
- Kamkar, B. 2011. GS_2011. A pocket software to calculate germination and emergence indices. GUASNR.
- Kamkar, B., Ahmadi, M., Soltani, A., and Zeinali, E. 2008. Evaluating non-linear regression models to describe response of wheat emergence rate to temperature. *Seed Science and Biotechnology*. 2, 53-57.
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., Mahdavi-Damghani, A., Villalobos, F.J., 2012. Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds germinate using non-linear regression models. *Industrial Crops and Products*. 35, 192-198.
- Khan, M., Gulzar, S. 2003. Germination responses of *Sporobolus ioclados*: A saline desert grass. *Journal of Arid Environments*. 55, 453-464.
- Mostafavi, K., and Heidarian, A. 2013. Effects of different salinity levels on germination indices in four sunflower varieties. *Iranian Journal of Agricultural Sciences*. 8:4. 123-131.
- Munns, R., 2005. Genes and tolerance: bringing them together. *New Phytologist*. 167, 645-663.

- Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, J.W., Grimm, S.S. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science*. 36, 1606- 1614.
- Rauf, M., Munir, M., Hassan, M., Ahmad, M. Afzal, M., 2007. Performance of wheat genotypes under osmotic stress at germination and early seedling growth stage. *African Journal of Biotechnology*. 6, 971-975.
- Rehman, S., Harris, P., Bourne, W. 1999. Effect of artificial ageing on the germination, ion leakage and salinity tolerance of *Acacia tortilis* and *Acoriacea* seeds. *Seed Science and Technology*. 27,141-149.
- Serrano, R., Macia, F., Moreno, V. 1999. Genetic engineering of salt and drought tolerance with yeast regulatory genes. *Scientia Horticulturae* 78, 261-269.
- Soltani, A., Zeinali, E., Galeshi, S., Latifi, N. 2002. 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., Robertson, M., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agriculture and Forest Meteorology*. 138, 156-167.
- Tan, D.K.Y., Wearing, A.H., Rickert, K.G., Birch, C.J. 1997 A systems approach to developing a model that predicts crop ontogeny and maturity in broccoli in south-east queensland. in: Wollin, A.S., Rickert, K.G. (Eds.), third australia and new zealand systems conference proceedings linking people, nature, business and technology. The University of Queensland, Gatton, pp. 179-187.
- Thygerson, T., Harris, J.M., Smith, B.N., Hansen, L.D., Pendleton, R.L., Booth, D.T. 2002. Metabolic response to temperature for six populations of winterfat (*Eurotia lanata*). *Thermochimica Acta*. 394, 211-217.
- Windauer, L., Altuna, A., Benech-Arnold, R. 2007. Hydrotime analysis of *Lesquerella fendleri* seed germination responses to priming treatments. *Industrial Crops and Products*. 25,70-74.
- Yin, X., Kropff, M.J., McLaren, G., Visperas, R.M. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agriculture and Forest Meteorology*. 77:1-16.

