



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال یازدهم / شماره اول / ۱۴۰۳ (۶۷ - ۵۱)

مقاله پژوهشی

DOI: 10.22124/jms.2024.8038



کمی سازی پاسخ جوانه زنی دو رقم چغندر قند به دما و شوری: مدل های رگرسیون غیر خطی

اسماعیل شیرغانی^۱، مجید رحیمی زاده*^۲، مریم تاتاری^۳، محمدرضا توکلوا^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۵

چکیده

این مطالعه با هدف بررسی اثر تنش شوری و دماهای مختلف بر جوانه زنی و تعیین دماهای کاردینال جوانه زنی (دمای پایه، مطلوب و بیشینه جوانه زنی) دو رقم چغندر قند انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف تنش شوری (۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی مولار) و دماهای مختلف (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵، ۴۰، ۴۵ و ۵۰ درجه سانتی گراد) بود. مدل سیگموئیدی سه پارامتره جهت تعیین زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی استفاده شد. نتایج نشان داد که دما و تنش شوری بر درصد جوانه زنی و سرعت جوانه زنی اثرگذار بود. به طوری که، با افزایش دما، درصد و سرعت جوانه زنی تا دمای مطلوب افزایش یافت و با افزایش تنش شوری، درصد جوانه زنی و همچنین سرعت جوانه زنی کاهش یافت. درصد و سرعت جوانه زنی در رقم بریجیتا بیشتر از رقم شکوفا بود. با توجه به پارامترهای SE ، R^2 ، CV ، $RMSE$ مناسب ترین مدل برای هر دو رقم چغندر قند مدل بتا بود. در رقم بریجیتا دمای پایه بین ۳/۶۷ الی ۵ درجه سانتی گراد، دمای مطلوب بین ۱۶/۶۷ الی ۲۶/۳۵ درجه سانتی گراد و دمای سقف بین ۴۰/۱۰ الی ۴۰/۸۹ درجه سانتی گراد و در رقم شکوفا دمای پایه بین ۲/۸۸ الی ۵/۶۵، دمای مطلوب بین ۱۶/۱۱ الی ۲۶/۴۷ درجه سانتی گراد و دمای سقف بین ۳۹/۹۴ الی ۴۲/۹۴ درجه سانتی گراد متغیر بود. نتایج به دست آمده نشان داد که درصد و سرعت جوانه زنی در رقم بریجیتا در شرایط تنش شوری و دماهای مختلف بالاتر از رقم شکوفا بود ولی از لحاظ دماهای کاردینال اختلاف معنی داری بین دو رقم وجود نداشت. بنابراین با استفاده از خروجی این مدل ها در دماهای مختلف می توان سرعت جوانه زنی را در پتانسیل های مختلف پیش بینی نمود.

واژه های کلیدی: تنش شوری، جوانه زنی، چغندر قند، مدل بتا، مدل دو تکه ای، مدل دندان مانند

farid.shirghani@gmail.com

rahimi1347@gmail.com

maryamtatari@yahoo.com

mr_tookaloo@yahoo.com

۱- دانشجوی دکتری زراعت گروه کشاورزی، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان، ایران.

۲- استادیار، گروه کشاورزی، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران.

۳- استادیار، گروه کشاورزی، واحد شیروان، دانشگاه آزاد اسلامی، شیروان، ایران.

۴- استادیار، گروه کشاورزی، واحد بجنورد، دانشگاه آزاد اسلامی، بجنورد، ایران.

*نویسنده مسئول: rahimi1347@gmail.com

مقدمه

جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه‌های تولید شده در تکثیر و انتشار گونه‌های گیاهی از لحاظ اقتصادی و اکولوژیکی دارای اهمیت زیادی می‌باشند. از آنجایی که، جوانه‌زنی نسبت به تنش‌های محیطی و غیرمحیطی حساسیت بالایی دارد، در چرخه زندگی گیاهی مرحله مهمی به حساب می‌آید (Nonogaki *et al.*, 2010). جوانه‌زنی با آبنوشی یا جذب آب توسط بذر در بذرها، خشک بلوغ یافته آغاز و با خروج ریشه‌چه (و یا به‌طور عمومی ناحیه جنین) از پوسته بذر (ناحیه احاطه کننده بذر) اتمام می‌یابد (Nonogaki *et al.*, 2010). مرحله جوانه‌زنی فرآیندی زیستی است که با آبنوشی بذر شروع و با خروج ریشه‌چه به اتمام می‌رسد (Tanveer *et al.*, 2020)، که تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و ژنتیکی قرار می‌گیرد (del Monte and Dorado, 2011)؛ از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر جوانه‌زنی، رشد و استقرار گیاهچه می‌توان دما، رطوبت و شوری را نام برد (Shafii and Price, 2001; Ansari *et al.*, 2018).

شوری یکی از شایع‌ترین تنش‌های محیطی و غیرزیستی است که بر تولید محصولات مختلف در مناطق خشک و نیمه خشک اثرگذار است (Ibrahim, 2016). مرحله جوانه‌زنی و رشد گیاهچه حساس‌ترین مراحل به شوری در گیاهان مختلف هستند (Abbasi Bidli *et al.*, 2017). گزارشات حاکی از آن است که اولین اثری که شوری می‌تواند بر رشد گیاهان داشته باشد عدم یکنواختی در جوانه‌زنی و سبز شدن گیاهچه‌ها می‌باشد (Ibrahim, 1992; Grieve *et al.*, 2016). تنش شوری سبب تغییرات نامطلوب فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در جوانه‌زنی بذرها خواهد شد و قادر است از طریق تنش اسمزی، اثرات اختصاصی یون و استرس اکسیداتیو بر جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه را تحت تأثیر قرار دهد. شوری از طریق فاکتورهای مختلفی از قبیل کم کردن دسترسی به آب، تغییر در جایابی مواد ذخیره‌ی بذر و اثرگذاری بر سازمان ساختاری پروتئین‌ها، جوانه‌زنی بذر را به تأخیر انداخته و یا از آن جلوگیری می‌نماید (Ansari, 2016; Ibrahim, 2016). گزارشات محققان نشان دهنده آن است که شوری سبب کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی در اکثر گیاهان شده است (Soltani *et al.*, 2006; Patade *et al.*, 2011; Deilam *et al.*, 2019). در این رابطه در مطالعه‌ای به

بررسی اثر تنش شوری بر ارقام شریف، پایا، شکوفا و آریا چغندر قند پرداخته شد که نتایج به‌دست آمده نشان داد ارقام شریف و پایا در سطوح شوری ۱۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب از شرایط جوانه‌زنی مناسب‌تری از نظر درصد جوانه‌زنی و طول دوره لازم برای جوانه‌زنی، طول ریشه‌چه و ساقه‌چه در مقایسه با ارقام شکوفا و آریا برخوردار بودند. به‌طوری که درصد جوانه‌زنی ارقام مذکور در هدایت الکتریکی ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر به ترتیب حدود ۶۰، ۷۰، و ۵۰ درصد بود (Farhoudi and Khayamim, 2019). دما عامل تعیین‌کننده مهمی برای جوانه‌زنی بذر به حساب می‌آید (Ansari *et al.*, 2018; Hilhorst, 1998) و بذرها، گیاهان مختلف در دامنه گسترده‌ای از دماها جوانه خواهند زد، ولی بیشترین جوانه‌زنی به‌طور چشمگیری در آستانه‌های این دامنه کاهش می‌یابند. دامنه دمایی که بیشترین جوانه‌زنی در آن رخ می‌دهد با توجه به نوع گونه‌ها و کیفیت بذر تغییر می‌کند. دمای پایین یکی از فاکتورهای محیطی غیرزنده محدودکننده رشد، تولید و پراکنش گیاهان مختلف محسوب می‌شود. بیشتر گیاهان حتی در محدوده‌ی عادات رشد طبیعی خود در معرض تغییرات دمایی (تغییرات فصلی و دوره‌ای) قرار می‌گیرند که ممکن است تنفس، فتوسنتز و رشد آن‌ها را محدود سازد. دمای پایین فعالیت بیوسنتزی گیاه را کاهش داده، از عملکرد طبیعی فرآیندهای فیزیولوژیکی جلوگیری می‌کند و ممکن است سبب آسیب‌های دائمی شود که نتیجه آن مرگ گیاهچه و گیاه است (Blum, 1988). به‌طور کلی، گیاهان دارای سه دمای کاردینال شامل؛ دمای پایه یا کمینه، دمای بهینه و دمای بیشینه یا سقف برای جوانه‌زنی هستند. بر اساس تعریف؛ دمای پایه و بیشینه دماهایی هستند که به ترتیب در دماهای پایین‌تر و بالاتر از آن دماها، جوانه‌زنی اتفاق نمی‌افتد و دمای بهینه؛ دمایی است که در آن جوانه‌زنی در کمترین زمان اتفاق می‌افتد، یعنی سرعت جوانه‌زنی در آن دما در حداکثر مقدار است (Alvarado and Bradford, 2002; Ansari *et al.*, 2018). بیان شده است که دماهای کاردینال، عموماً به دامنه سازگاری محیطی یک گونه گیاهی بستگی دارد و همزمانی جوانه‌زنی با شرایط بهینه برای مراحل بعدی رشد و توسعه گیاهچه را ضمانت می‌کند (Alvarado and Bradford, 20).

از دیرباز تا کنون از مدل‌های مختلف جهت مدل‌سازی جوانه‌زنی بذر گیاهان مختلف استفاده شده است (Brown

Aliasgharzad, 2007; Gholipor *et al.*, 2021; Khyamim *et al.*, 2012) و در برخی مطالعات نیز به بررسی دماهای کاردینال چغندر قند پرداخته شده است، این در حالی است که بررسی هم‌زمان اثر تنش‌های مختلف محیطی مانند شوری بر دماهای کاردینال چغندر قند تا کنون انجام نشده است. بنابراین این پژوهش به منظور بررسی اثر تنش شوری بر جوانه زنی و دماهای کاردینال بذر چغندر قند رقم شکوفا (بذر بومی ایرانی) و رقم بریجیتا (بذر هیبرید وارداتی) اجرا گردید.

مواد و روش‌ها

این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کامل تصادفی انجام شد. تیمارهای مختلف در ۴ تکرار ۵۰ بذری در سطوح مختلف تنش شوری صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌مولار در ظرف‌های پلاستیکی و در دامنه‌ی دمایی ۵ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد با فاصله دمایی ۵ درجه سانتی‌گراد برای مدت زمان ۱۴ روز و بر روی کاغذ آکاردئونی مورد آزمون جوانه‌زنی قرار گرفتند. جوانه‌زنی تنها در تیمار شاهد در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد و در سایر تیمارهای در این دما جوانه‌زنی صفر بود و برای تیمار شاهد در دمای ۴۵ درجه سانتی‌گراد به صفر رسید. بنابراین جوانه‌زنی در بازه دمایی صفر الی ۴۰ درجه سانتی‌گراد آنالیز گردید. برای ایجاد سطوح مختلف تنش شوری از نمک NaCl و با استفاده از رابطه وانت هوف (Van't Hoff, 1988) سطوح مختلف تنش شوری اعمال شد. ۲۴ ساعت قبل از شروع آزمایش محلول‌های آماده شده در دماهای مختلف قرار داده شدند. بازدید بذرها به صورت چندین شمارش در روز انجام گرفت و معیار جوانه‌زنی خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود. در طول آزمایش در صورت نیاز محلول مربوطه به ظرف‌های پتری‌دیش اضافه گردید. در پایان آزمایش (۱۴ روز) شاخص‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی در کلیه تیمارها با استفاده از نمودار پراکندگی درصد جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان (ساعت) محاسبه گردید.

در نهایت جهت تعیین دماهای کاردینال در سطوح مختلف تنش شوری سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۱ محاسبه گردید (Soltani *et al.*, 2006):

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

رابطه ۱

and Mayer, 1998; Ansari *et al.*, 2016; Ansari *et al.*, 2018). در این زمینه از مدل‌های رگرسیون غیر خطی جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر پنیرک به دما و رطوبت (Ansari *et al.*, 2018)، جوانه‌زنی بذر خشخاش (Kamkar *et al.*, 2011) به دما و بذر علف‌خونی به دما (Derakhshan *et al.*, 2013) استفاده شده است. خلیلی و همکاران (Khalili *et al.*, 2015) در مطالعه‌ای به بررسی کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر گیاه مرزه به دما و شوری با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیر خطی پرداختند که در آن مطالعه مشخص شد با افزایش تنش شوری در تمامی دماها درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. با ارزیابی مدل‌های مختلف مدل بتا به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد. همچنین، نتایج نشان داد که دمای پایه و زمان بیولوژیک جوانه‌زنی به ازای هر ۲۵ میلی‌مولار غلظت شوری به ترتیب ۱/۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش و ۱/۶۵ ساعت افزایش یافت.

از ابتدای قرن ۱۹ به دلیل نقش حیاتی که چغندر قند در تأمین بخشی از نیازهای غذایی بشر داشت به صورت ویژه مورد کشت و کار قرار گرفت. تاریخ کاشت چغندر قند در مناطق معتدله و سرد، به گونه‌ای انتخاب می‌گردد که خطر سرما و یخبندان رفع شده باشد اما با این وجود مصادف شدن با تنش دمای پایین وجود دارد. در کاشت زود هنگام چغندر قند ممکن است گیاه با سرمای دیرس مواجه و در نتیجه به گیاه خسارت وارد شود، زیرا گیاهچه‌های جوان چغندر قند در مراحل ابتدایی رشد به سرما حساس می‌باشند، این شرایط سبب افزایش دوباره کاری در مزارع چغندر قند شده و در نتیجه ممکن است چغندر قند به شرایط گرم و خشک برخورد کند و به دنبال آن عملکرد کاهش یابد (Lacic and Kovacey, 2004).

تحقیقات نشان داده است که گیاه چغندر قند در مراحل جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه به شدت تحت تأثیر تنش‌های محیطی از جمله تنش خشکی، شوری و دمای پایین قرار می‌گیرد، تا آن جایی که استقرار ضعیف گیاه یکی از مشکلات اصلی در مناطق خشک و شور و در تاریخ‌های کشت زود هنگام به حساب می‌آید (Kaya *et al.*, 2006; Francis, 2007).

تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با اثر عوامل محیطی بر خصوصیات ارقام زراعی مختلف چغندر قند در رابطه با میزان تحمل آن‌ها به تنش‌های محیطی در مرحله اولیه جوانه‌زنی صورت گرفته است (Jafarzadeh and

برای توجیه روند تغییرات مربوط به درصد جوانه‌زنی در مقابل دما از رابطه سیگموئیدی سه پارامتره زیر استفاده شد (Ansari et al., 2016):

$$G = G_{\max} / (1 + \exp(-(x - x_{50})/b)) \quad \text{رابطه ۳}$$

که G_{\max} ؛ حداکثر درصد جوانه‌زنی، x_{50} ؛ زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و b ؛ ضریب معادله است. سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از معکوس کردن زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت (Ansari et al., 2016) در هر دما و شوری به دست آمد، برای تعیین دماهای کاردینال از مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا استفاده شد (جدول ۱).

جدول ۱- معادلات مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا برآزش داده شده به سرعت جوانه‌زنی در دماهای مختلف. T_b دمای پایه، T_{o1} دمای مطلوب تحتانی، T_{o2} دمای مطلوب فوقانی، T_o دمای مطلوب، T_c دمای بیشینه، f_o تعداد

ساعات بیولوژیکی و a ضریب ثابت و T دما (دمای مورد آزمایش) می‌باشد

Table 1. Segmented, dent-like and beta models that were fitted to germination rate data for determining cardinal temperatures. T_b , T_o , T_m , T_{o1} , T_{o2} , and f_o are base temperature, optimum temperature, ceiling temperature, lower limit of optimum temperature, upper limit of optimum temperature, minimum time to reach a given percentile

معادله Function	فرمول Formula
دندان مانند (۲) (Piper, 1996)	$f(T) = (T - T_b) / (T_{o1} - T_b)$ 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 $T \geq T_c$
دو تکه‌ای (۳) (Soltani et al., 2006)	$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b)$ if $T_b < T \leq T_o$ $f(T) = [1 - (T - T_o) / (T_c - T_o)]$ if $T_o < T \leq T_c$ $f(T) = 0$ if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$
بتا (۴) (Yin et al., 1995)	$f(T) = ((T_c - T) / (T_c - T_o)) * ((T - T_b) / (T_o - T_b))^{(T_o - T_b) / (T_c - T_o)}$

کاهش در درصد و سرعت جوانه‌زنی در دماهای پایین و بالا بیشتر قابل مشاهده بود (شکل ۱ و ۲). به‌طور کلی، در تمامی دماها با افزایش شدت تنش شوری درصد جوانه‌زنی کاهش یافت، همچنین نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش شوری سرعت جوانه‌زنی بر اساس درصد نهایی جوانه‌زنی کاهش یافت.

نتایج نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی با میانگین ۹۲ درصد مربوط به رقم بریجیتا و دماهای ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد و شرایط بدون تنش شوری بود و بیشترین سرعت جوانه‌زنی با میانگین ۰/۱۵ بذر در روز مربوط به شرایط بدون تنش و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رقم بریجیتا بود (شکل ۱ و ۲).

در این رابطه R_{50} نشان دهنده سرعت جوانه‌زنی و D_{50} نشان دهنده زمان رسیدن به ۵۰ درصد حداکثر جوانه‌زنی است. برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال از رابطه ۲ استفاده شد (Soltani et al., 2006):

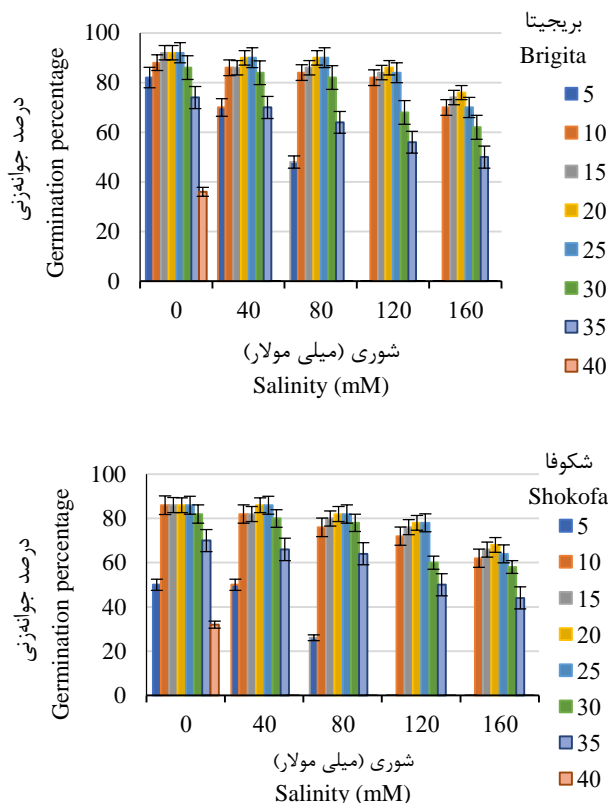
$$R_{50} = f(T) R_{\max} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه $f(T)$ تابع دما می‌باشد که از صفر در دمای پایه و سقف تا حداکثر سرعت (یک) در دمای بهینه تغییر می‌کند، R_{\max} حداکثر سرعت ذاتی جوانه‌زنی را در دمای بهینه نشان می‌دهد.

برای تجزیه داده‌ها و برآورد پارامترها از نرم افزار SigmaPlot استفاده شد. بهترین برآورد پارامترهای مدل بر اساس حداقل خطای معیار (SE) پارامترها و کمترین جذر میانگین مربعات انحراف (RMSE) رگرسیون و با استفاده از میزان آریبی خط رگرسیون داده‌های شبیه‌سازی شده از خط یک به یک تعیین گردید.

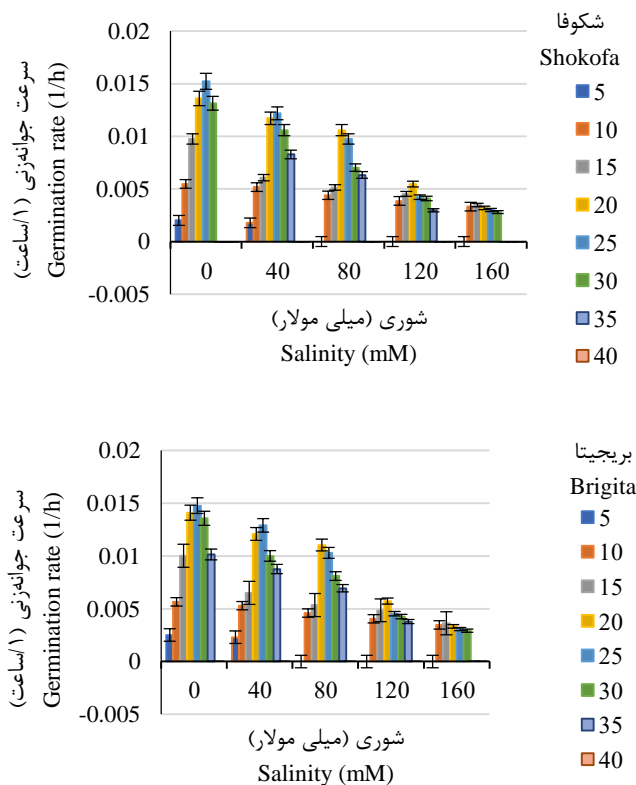
نتایج و بحث

روند تغییرات درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر چغندر قند به دما و تنش شوری در شکل ۱ قابل مشاهده است. نتایج نشان داد با افزایش شدت تنش شوری درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت و کاهش درصد جوانه‌زنی با



شکل ۱- اثر دما و تنش شوری بر درصد جوانه زنی بذر چغندر قند

Figure 1. The effect of temperature and salinity on seed germination percentage of *Beta vulgaris*.



شکل ۲- اثر دما و تنش شوری بر سرعت جوانه زنی بذر چغندر قند

Figure 2. The effect of temperature and salinity on seed germination rate of *Beta vulgaris*

جهت تعیین دماهای کاردینال در ابتدا باید سرعت جوانه‌زنی محاسبه گردد که برای دماها و سطوح مختلف تنش شوری زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی جمعیت با استفاده از مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره محاسبه شد (عکس این زمان در شکل ۲ برای هر دو رقم قابل مشاهده است). در این راستا کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2011) برای برآورد D_{50} از مدل لجستیک استفاده کردند. علاوه بر مدل لجستیکی از سایر مدل‌های سیگموئیدی جهت کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به زمان جهت برآورد زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی و محاسبه سرعت جوانه‌زنی نیز استفاده شده است. شفیع و پرایس (Shafii and Price, 2001) از مدل سیگموئیدی ۳ پارامتره جهت برآورد D_{50} استفاده نمودند.

بعد از محاسبه سرعت جوانه‌زنی، به داده‌های مربوط به سرعت جوانه‌زنی در سطوح مختلف تنش شوری و در دماهای مختلف، مدل‌های رگرسیون غیرخطی؛ دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا برازش داده شد (شکل ۳ و ۴). در نهایت دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف با استفاده از این مدل‌ها و برای سطوح مختلف شوری محاسبه شدند (جدول ۲ و ۳).

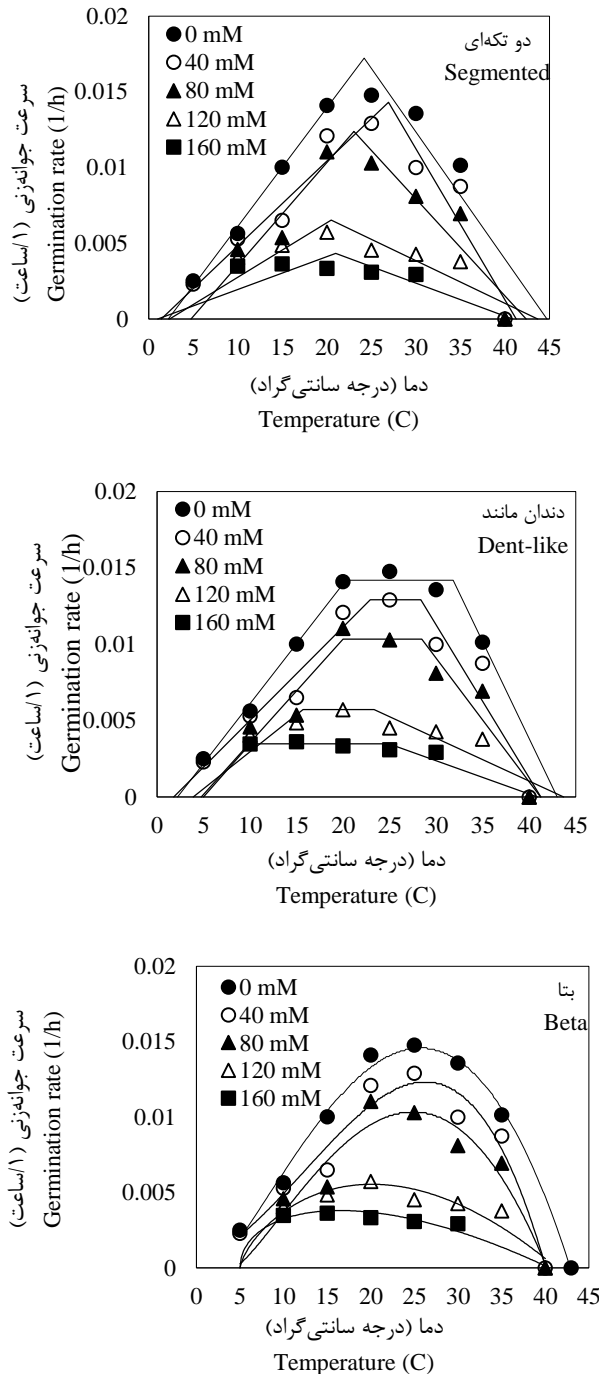
نتایج نشان داد که تحت شرایط پتانسیل صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ میلی‌مولار، دمای پایه تعیین شده برای رقم بریجیتا با استفاده از مدل دوتکه‌ای به ترتیب ۲/۲، ۱/۳۸، ۴/۷۶، ۲/۳۲ و ۰/۰۱ درجه سانتی‌گراد، با استفاده از مدل دندان مانند به ترتیب ۲/۲، ۱/۷۹، ۴/۷۵، ۳/۸۸ و ۵ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا به ترتیب ۱/۷، ۳/۶۷، ۴/۲۶، ۴/۹۹ و ۵ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۲۴/۱۹، ۲۶/۹۳، ۲۳/۰۴، ۲۰/۴۸ و ۲۰/۹۴ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا ۲۵/۶۹، ۲۶/۱۲، ۲۴/۸۲، ۲۰/۱۱ و ۱۶/۴۷ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی با استفاده از مدل دندان مانند، ۲۰/۲۹ و ۳۱/۸۲، ۲۲/۹ و ۲۸/۳۴، ۲۰ و ۲۸/۴۳، ۱۵/۶۹ و ۲۳/۳۴، ۱۰/۰۱ و ۲۴/۹۱ درجه سانتی‌گراد، دمای سقف با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۴۴/۷۳، ۴۱/۲۵، ۴۲/۳۹، ۴۳/۶۸ و ۴۰/۵، با استفاده از مدل دندان مانند ۴۳، ۴۱/۲۵، ۴۱/۱۹، ۴۰/۶۸ و ۴۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا ۴۲/۸۹، ۴۰/۱۵، ۴۰/۱۹، ۴۰/۳۱ و ۴۰/۵۲ درجه سانتی‌گراد، تعداد ساعات بیولوژیکی با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۵۸/۰۴، ۶۹/۸۲، ۸۰/۶۶، ۱۵۳/۱۱ و ۲۳۱/۲ ساعت، با استفاده از

نتایج به‌خوبی نشان داد که بذر هر دو رقم چغندر قند تحت دامنه وسیعی از دماها قادر به جوانه‌زنی می‌باشند ولی واکنش جوانه‌زنی بذر هیبرید رقم بریجیتا نسبت به دما مناسب‌تر بود و از شاخص‌های بالاتری برخوردار بود. دما به واسطه تأثیر بر کمون بذر می‌تواند سرعت‌های جوانه‌زنی، رشد ریشه‌چه و ساقه‌چه را تحت تأثیر قرار دهد (Bradford, 2002). فورسلا (Forcella, 2000) عنوان کرد زمان جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین رخدادهایی است که باعث موفقیت گونه‌های گیاهی یک‌ساله و افزایش جمعیت آن‌ها در بوم نظام‌های کشاورزی می‌شود. نتایج تنش شوری به خوبی نشان داد که با افزایش تنش شوری درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. در این رابطه، در گزارشات مختلف نتایج متغیری در مورد آستانه خسارت شوری به گیاه چغندر قند گزارش شده است به طوری که کاهش درصد جوانه‌زنی در هدایت الکتریکی ۸ دسی‌زیمنس نیز گزارش شده است (Jafarzadeh and Aliasgharzad, 2007). همچنین در مطالعه‌ای بر ژنوتیپ‌های مختلف چغندر قند نیز گزارش شده است که چغندر قند علاوه بر حساس بودن در مرحله جوانه‌زنی نسبت به شوری تا مرحله استقرار گیاهچه نیز به این تنش حساسیت بالایی دارد (Khayamim et al., 2012). در بسیاری از گونه‌های گیاهی نظیر *Polypogon fugax* (Wu et al., 2015) و *S. rostratum* (Wei et al., 2009) گزارش شده است که برای جوانه‌زنی به حد آستانه دمایی نیاز دارند و در دامنه محدودی از دماها قادر به جوانه‌زنی هستند، این در حالی است که جوانه‌زنی گونه‌هایی شبیه *Bromus japonicas* (Acosta et al., 2015) و *Gomphrena perennis* (Li et al., 2015) و *Urena lobata* (Wang et al., 2009) در دامنه وسیعی از دماها اتفاق می‌افتد.

با توجه به نتایج به‌دست آمده مشخص شد که بذر چغندر قند قادر به جوانه‌زنی تحت شرایط شوری مختلف در تمامی دماها به جز دماهای ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود، اما به‌طور کلی در تمامی دماها جوانه‌زنی با بیشتر شدن تنش شوری کاهش یافت که شدت این کاهش در رقم شکوفا بیشتر بود. مشابه نتایج به‌دست آمده برای بذر چغندر قند، در دیگر گونه‌های گیاهی کاهش درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در نتیجه افزایش تنش شوری نیز گزارش شده است (Zare et al., 2021; Gholipor et al., 2021; Khyamim et al., 2012 ;

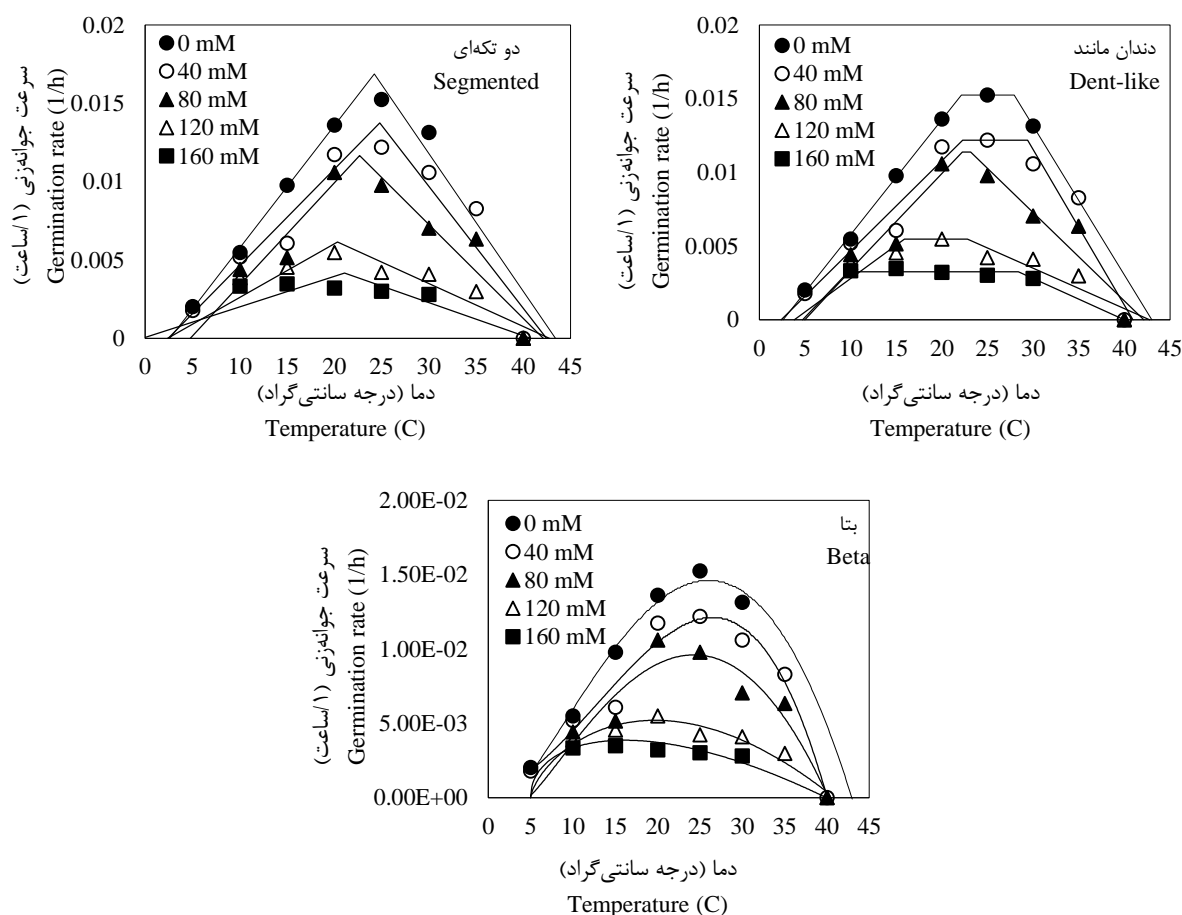
شکوفای دو تکه ای به ترتیب ۲/۴۲، ۲/۶۱، ۴/۷۵، ۲/۳۵ و ۰/۰۱ درجه سانتی گراد، با استفاده از مدل دندان مانند به ترتیب ۲/۴۲، ۲/۶۱، ۴/۷۵، ۳/۸۲ و ۵ درجه سانتی گراد و با استفاده از مدل بتا به ترتیب ۲/۱۱، ۲/۸۸، ۴/۶۴، ۵/۰۵ و ۵/۶۵ درجه سانتی گراد، دمای مطلوب با

مدل دندان مانند ۷۰/۵۳، ۷۷/۴۳، ۹۶/۸۲، ۱۷۴/۵۶ و ۲۸۶/۹۵ ساعت و با استفاده از مدل بتا ۶۸/۶، ۸۱/۰۲، ۹۶/۶۹، ۱۸۰/۳۱ و ۲۶۲/۵۶ ساعت برآورد شد (جدول ۲). نتایج نشان داد که تحت شرایط پتانسیل صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۶۰ و ۱۲۰ میلی مولار، دمای پایه تعیین شده برای رقم



شکل ۳- سرعت جوانه زنی پیش بینی شده (خط ممتد) و مشاهده شده (نقاط) بذر چغندر قند (رقم بریجیتا) با استفاده از مدل های دو تکه ای، دندان مانند و بتا در سطوح مختلف شوری

Figure 3. Predicted (lines) and observed (symbols) germination rate of *Beta vulgaris* seeds (Brigita cultivar) at different salinity using segmented, dent-like and beta models



شکل ۴- سرعت جوانه‌زنی پیش بینی شده (خط ممتد) و مشاهده شده (نقاط) بذر چغندر قند (رقم شکوفا) با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا در سطوح مختلف شوری

Figure 4. Predicted (lines) and observed (symbols) germination rate of *Beta vulgaris* seeds (Shokofa cultivar) at different salinity using segmented, dent-like and beta models

۸۲/۵۷، ۱۰۴/۱۳، ۱۹۲/۱۳ و ۲۵۸/۷۳ ساعت برآورد شد (جدول ۲).

جهت بررسی دقت مدل‌های استفاده شده و تعیین مناسب‌ترین مدل از نمودار خط ۱:۱ سرعت جوانه‌زنی مشاهده شده در مقابل سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی شده استفاده شد. با استفاده از نمودار خط ۱:۱ مقادیر RMSE، CV و ضرایب رگرسیون a و b برای تمامی پتانسیل‌های اسمزی به صورت جداگانه محاسبه شدند که RMSE و CV پائین و R^2 Adj بالا نشان دهنده دقت بالاتر در مدل بود (جدول ۲ و ۳). ضریب b برای مدل دوتکه‌ای و دندان مانند معنی‌دار بود ولی در برخی از سطوح تنش شوری و مدل بتا معنی‌دار نبود، ولی ضریب a برای هیچ کدام از مدل‌ها معنی‌دار نبود. ضرایب a و b به ترتیب نشان‌دهنده مقدار انحراف خط رگرسیون از خط ۱ به ۱ می‌باشد، که اگر نقاط

استفاده از مدل دوتکه‌ای ۲۴/۲۳، ۲۴/۸۱، ۲۲/۶۹، ۲۰/۳۵ و ۲۱/۱۳ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا ۲۶/۰۱، ۲۶/۲۸، ۲۶/۲۹، ۱۹/۷۱ و ۱۶/۱۱ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی با استفاده از مدل دندان مانند، ۲۲/۱۳ و ۲۷/۹۲، ۲۲/۲۷ و ۲۹/۴۲، ۲۲/۲۶ و ۲۳/۱۷، ۱۵/۹۱ و ۲۲/۸۲، ۹/۸۶ و ۲۸/۳۹ درجه سانتی‌گراد، دمای سقف با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۴۳، ۴۰/۹۴، ۴۲/۱۳، ۴۲ و ۴۰/۸۱، با استفاده از مدل دندان مانند ۴۳، ۴۰/۹۴، ۴۲/۱۳، ۴۲ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد و با استفاده از مدل بتا ۴۲/۹۴، ۴۲/۰۳، ۴۰/۱۲، ۴۰/۸۷ و ۳۹/۹۴ درجه سانتی‌گراد، تعداد ساعات بیولوژیکی با استفاده از مدل دوتکه‌ای ۵۹/۲۵، ۷۲/۷۶، ۸۵/۷۵، ۱۶۲/۳۴ و ۲۳۸/۸۸ ساعت، با استفاده از مدل دندان مانند ۶۵/۶۲، ۸۲/۱۱، ۸۷/۸۹، ۱۸۲/۴۴ و ۳۰۷/۷۶ ساعت و با استفاده از مدل بتا ۶۸/۴۵

جدول ۲- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای بیشینه (T_c)، تعداد ساعات بیولوژیکی (f_o)، عرض از مبدا (a) و شیب خط رگرسیون سرعت جوانه زنی واقعی و پیش بینی شده با استفاده از مدل های رگرسیون غیر خطی برای بذر چغندر قند (رقم بریجیتا) تحت شرایط تنش شوری. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می باشد

Table 2. Estimated parameters for the non-linear regression models for *Beta vulgaris* seeds (Brigita cultivar). T_b , T_o , T_m , T_{o1} , T_{o2} , f_o , a and b are base temperature, optimum temperature, ceiling temperature, lower limit of optimum temperature, upper limit of optimum temperature, minimum physiological hour requirement, coefficient of regression, intercept and slope of linear regression between predicted against observed germination rate, respectively. Numbers in parentheses represent standard error of the mean.

مدل Model	دو تکه ای					دندان مانند					بتا				
	Segmented					Dent-like					Beta				
ضرایب (Parameters)	0mM	40mM	80mM	120mM	160mM	0mM	40mM	80mM	120mM	160mM	0mM	40mM	80mM	120mM	160mM
t_b	2.2 (2.22)	1.38 (3.55)	4.76 (2.19)	2.32 (3.72)	0.01 (3.33)	2.2 (0.79)	1.79 (3.67)	4.75 (2.27)	3.88 (2.88)	5 (0.74)	1.7 (1.59)	3.67 (8.22)	4.26 (3.37)	4.99 (0.09)	5 (9.77)
t_o	24.19 (1.47)	26.93 (2.04)	23.04 (1.91)	20.48 (2.96)	20.94 (4.1)	-	-	-	-	-	25.69 (0.61)	26.12 (1.38)	24.82 (1.53)	20.11 (1.7)	16.47 (2.14)
t_{o1}	-	-	-	-	-	20.29 (0.84)	22.9 (4.94)	20 (3.45)	15.69 (3.87)	10.01 (0.91)	-	-	-	-	-
t_{o2}	-	-	-	-	-	31.82 (0.76)	28.34 (3.1)	28.43 (3.28)	23.34 (6.57)	24.91 (2.61)	-	-	-	-	-
t_c	44.73 (1.97)	41.25 (2.17)	42.39 (2.75)	43.68 (5.18)	40.5 (5.11)	43 (0.47)	41.25 (2.19)	41.19 (2.32)	40.68 (5.29)	40.85 (2.42)	42.89 (0.36)	40.15 (0.73)	40.19 (1.01)	40.31 (1.61)	40.52 (1.59)
f_o	58.04 (4.06)	69.82 (7.26)	80.66 (8.18)	153.11 (23.2)	231.2 (46.1)	70.53 (2.08)	77.43 (12.47)	96.82 (16.83)	174.56 (40.67)	286.95 (30)	68.6 (1.7)	81.02 (4.87)	96.69 (7.83)	180.31 (13.11)	262.56 (21.98)
a	-0.0004	-0.00006	0.003	-0.00002	-0.00002	-0.00001	-0.0002	0.00007	-0.00002	-0.00002	0.004	0.00008	-0.00003	-0.00007	-0.00007
b	0.99**	1.002**	0.98*	1.002**	1.002**	1.002**	1.001**	0.99*	1.002**	1.002**	0.99**	0.99**	0.92	0.9	1.001**
R^2_{Adj}	0.91	0.8	0.83	0.65	0.65	0.99	0.8	0.82	0.63	0.9	0.99	0.9	0.88	0.88	0.94
RMSE	0.003	0.009	0.009	0.01	0.01	0.001	0.007	0.006	0.009	0.004	0.001	0.002	0.002	0.003	0.003
CV %	9.54	14.67	14.72	18.34	22.43	4.12	9.42	8.53	16.51	7.43	4.11	3.34	4.76	4.56	3.21

جدول ۳- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای بیشینه (T_c)، تعداد ساعات بیولوژیکی (f_o)، عرض از مبدا (a) و شیب خط رگرسیون سرعت جوانه‌زنی واقعی و پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای بذر چغندر قند شکوفا تحت شرایط تنش شوری. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می‌باشد

Table 3. Estimated parameters for the non-linear regression models for *Beta vulgaris* seeds (Shokofa cultivar). T_b , T_o , T_m , T_{o1} , T_{o2} , f_o , a and b are base temperature, optimum temperature, ceiling temperature, lower limit of optimum temperature, upper limit of optimum temperature, minimum physiological hour requirement, coefficient of regression, intercept and slope of linear regression between predicted against observed germination rate, respectively. Numbers in parentheses represent standard error of the mean

مدل	دو تکه‌ای					دندان مانند					بتا				
Model	Segmented					Dent-like					Beta				
ضرایب (Parameters)	0mM	40mM	80mM	120mM	160mM	0mM	40mM	80mM	120mM	160mM	0mM	40mM	80mM	120mM	160mM
t_b	2.61 (1.29)	2.42 (3.41)	4.75 (2.07)	2.35 (3.32)	0.01 (6.43)	2.61 (0.31)	2.42 (3.05)	4.75 (2.39)	3.82 (2.59)	5 (0.11)	2.11 (1.82)	2.88 (5.13)	4.64 (3.09)	5.05 (0.04)	5.65 (3.43)
t_o	24.23 (0.86)	24.81 (2.15)	22.69 (1.82)	20.35 (2.62)	21.13 (4.1)	-	-	-	-	-	26.01 (0.82)	26.28 (1.1)	24.29 (1.66)	19.71 (1.34)	16.11 (2.26)
t_{o1}	-	-	-	-	-	22.13 (0.43)	22.27 (4.19)	22.26 (2.11)	15.91 (3.53)	9.86 (3.45)	-	-	-	-	-
t_{o2}	-	-	-	-	-	27.92 (0.34)	29.42 (2.4)	23.17 (20.4)	22.82 (5.78)	28.39 (34.65)	-	-	-	-	-
t_c	43.42 (1.13)	42.48 (2.67)	42.14 (2.61)	42 (4.17)	40.81 (4.12)	43 (0.24)	40.94 (1.75)	42.13 (3.02)	42 (4.27)	40 (65.43)	42.94 (0.4)	40.03 (0.57)	40.17 (1.15)	40.87 (1.2)	39.94 (1.64)
f_o	59.25 (2.57)	72.76 (8.29)	85.75 (8.39)	162.34 (22.18)	238.88 (48.15)	65.62 (1.04)	82.03 (12.21)	87.89 (16.83)	182.44 (37.41)	307.37 (89.76)	68.45 (2.19)	82.11 (4.68)	104.13 (9.27)	192.13 (10.89)	258.73 (24.76)
a	-0.0002	-0.00004	0.001	-0.00003	-0.00003	-0.00002	-0.0001	0.00009	-0.00001	-0.00003	0.003	0.00006	-0.00005	-0.00009	-0.00008
b	0.99**	1.003**	0.97*	1.001**	1.001**	1.001**	0.99**	0.99*	1.003**	1.003**	0.9	0.99**	1.0004*	1.002**	1.002**
R^2 Adj	0.97	0.8	0.84	0.72	0.45	0.99	0.84	0.79	0.7	0.97	0.98	0.93	0.85	0.93	0.91
RMSE	0.004	0.008	0.007	0.009	0.02	0.004	0.006	0.008	0.007	0.004	0.001	0.002	0.004	0.003	0.005
CV %	4.64	8.12	7.17	9.23	16.76	3.14	8.09	7.63	8.94	4.72	3.15	4.68	5.97	5.66	5.66

روند خاصی پیروی نمی کند اما با استفاده از مدل بتا که مناسب ترین مدل نیز معرفی گردید با افزایش شدت تنش شوری دمای پایه با تغییر سطح تنش از صفر به ۴۰ میلی مولار روندی کاهشی و سپس روندی افزایشی را نشان داد. در سطوح مختلف تنش شوری دمای پایه با توجه به خطای استاندارد تعیین شده توسط مدل ها تحت تأثیر قرار نگرفت و با هم اختلاف معنی داری نداشتند و با وجود اینکه دمای پایه برآورد شده در رقم بریجیتا کمتر از رقم شکوفا بود ولی با هم اختلاف معنی داری نداشتند (جدول ۴).

پیش بینی شده روی خط قرار داشته باشند، نشان دهنده مناسب بودن مدل است. معنی دار بودن ضریب a نشان دهنده این است که عرض از مبدأ خط رگرسیون با عرض از مبدأ خط ۱ به ۱ (یعنی صفر) مطابقت ندارد، و معنی دار بودن ضریب b نشان دهنده این است که شیب خط رگرسیون با شیب خط ۱ به ۱ (یعنی ۱) مطابقت ندارد و خط رگرسیون نسبت به خط ۱ به ۱ دارای اریب است. با توجه به نتایج به دست آمده می توان مدل بتا را به عنوان مناسب ترین مدل جهت برآورد دماهای کاردینال معرفی کرد.

نتایج مربوط به تغییرات دمای پایه با استفاده از مدل دوتکه ای و دندان مانند نشان داد که تغییرات دمای پایه از

جدول ۴- اثر سطوح مختلف تنش شوری بر دمای پایه بذر چغندر قند رقم بریجیتا و شکوفا. اعداد داخل پرانتز نشان دهنده خطای استاندارد می باشد

Table 4. Effect of different osmotic potentials on base temperatures of Shokofa and Brigitata cultivar of *Beta vulgaris* seeds. Numbers in parentheses represent standard error of the mean

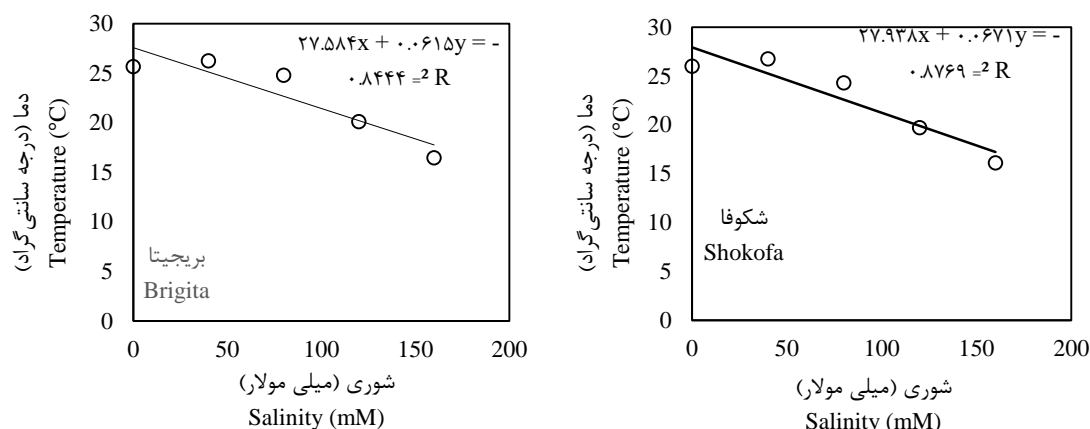
تنش شوری (میلی مولار) Salinity (mM)	مدل (Model)					
	دوتکه ای		دندان مانند		بتا	
	Segmented		Dent-like		Beta	
	بریجیتا Brigita	شکوفا Shokofa	بریجیتا Brigita	شکوفا Shokofa	بریجیتا Brigita	شکوفا Shokofa
0	2.2 (2.22)	2.61 (1.29)	2.2 (0.79)	2.61 (0.31)	1.7 (1.59)	2.11 (1.82)
40	1.38 (3.55)	2.42 (3.41)	1.79 (3.67)	2.42 (3.05)	3.67 (9.39)	2.88 (7.49)
80	4.76 (2.19)	4.75 (2.07)	4.75 (2.27)	4.75 (2.39)	4.26 (3.37)	4.64 (3.09)
120	2.35 (3.32)	2.35 (3.32)	3.88 (2.88)	3.82 (2.59)	4.99 (0.09)	5.05 (0.04)
160	0.01 (7.43)	-0.32 (7.43)	5 (0.74)	5 (0.11)	5 (9.77)	5.65 (3.43)

جلیلیان و همکاران (Jalilian et al., 2005) در مطالعه ای به برآورد دمای پایه و بررسی روند جوانه زنی و سبزشدن ارقام منوژرم چغندر قند در درجات مختلف حرارت پرداختند. در این مطالعه نتایج نشان داد که دمای پایه برای جوانه زنی در ارقام مختلف بین ۲/۰۶ تا ۳/۰۵ درجه سانتی گراد متغیر بود. درصد جوانه زنی بذر چغندر قند در دمای ۱۲ و ۲۷ درجه سانتی گراد بیشترین مقدار بود اما دمای مطلوب جوانه زنی در دامنه دمایی ۲۴ تا ۲۷ درجه سانتی گراد متغیر بود که بیشترین سرعت جوانه زنی وجود داشت.

جهت نشان دادن روند تغییرات پارامترهای برآورد شده توسط مناسب ترین مدل (مدل بتا) در سطوح مختلف تنش شوری، پارامترهای تعیین شده در برابر تنش شوری قرار گرفتند و نمودار مربوط به هر کدام جهت بررسی روند تغییرات رسم شد که در شکل های ۵، ۶ و ۷ قابل مشاهده است. نتایج نشان داد که دمای مطلوب با بیشتر شدن تنش شوری کاهش یافت، برای دمای سقف روندی کاهشی مشاهده شد، در ادامه مشخص گردید که با افزایش شدت تنش شوری تعداد ساعات بیولوژیکی در هر دو رقم چغندر قند افزایش یافت.

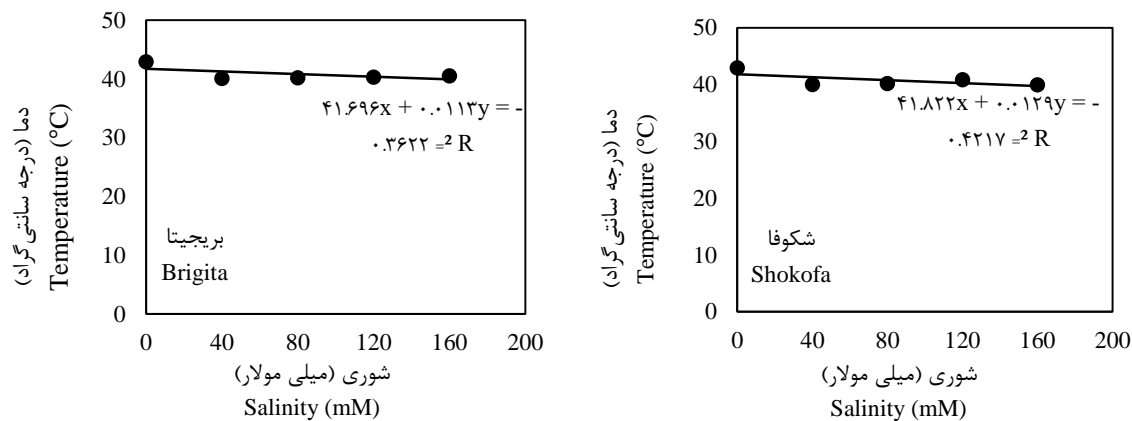
بیان داشتند که مدل دندان مانند نسبت به مدل‌های دیگر واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و پتانسیل آب را بهتر توصیف می‌کند. همچنین ایشان بیان داشتند که به‌جز دمای پایه بقیه دماهای برآورد شده تحت تأثیر پتانسیل آب قرار نگرفت. همچنین خدابخشی و همکاران (Khadabakhshi *et al.*, 2015) واکنش سرعت جوانه‌زنی گیاه دارویی مرزه نسبت به دما و پتانسیل آب را با استفاده از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی کمی‌سازی نمودند. در این تحقیق مشخص شد که دماهای کاردینال جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر پتانسیل آب قرار نگرفت اما زمان بیولوژیک جوانه‌زنی به ازای کاهش یک مگاپاسکال پتانسیل آب ۱۷/۶۴ ساعت افزایش یافت.

خلیلی و همکاران (Khalili *et al.*, 2015) از مدل‌های بتا، دندان مانند و دوتکه‌ای جهت توصیف سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما و تنش شوری بر روی گیاه دارویی مرزه استفاده نمودند و مدل بتا را به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب نمودند. همچنین اظهار داشتند که دمای مطلوب و سقف تحت تأثیر غلظت شوری قرار نگرفتند، اما دمای پایه و زمان بیولوژیک جوانه‌زنی به ازای افزایش هر ۲۵ میلی‌مولار تنش شوری به ترتیب ۱/۳۵ درجه سانتی‌گراد کاهش و ۱/۶۵ ساعت افزایش را نشان دادند. نوذری‌نژاد و همکاران (Nozari-nejad *et al.*, 2014) از مدل‌های بتا، دندان مانند و دوتکه‌ای جهت توصیف سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما و پتانسیل آب استفاده نمودند، ایشان



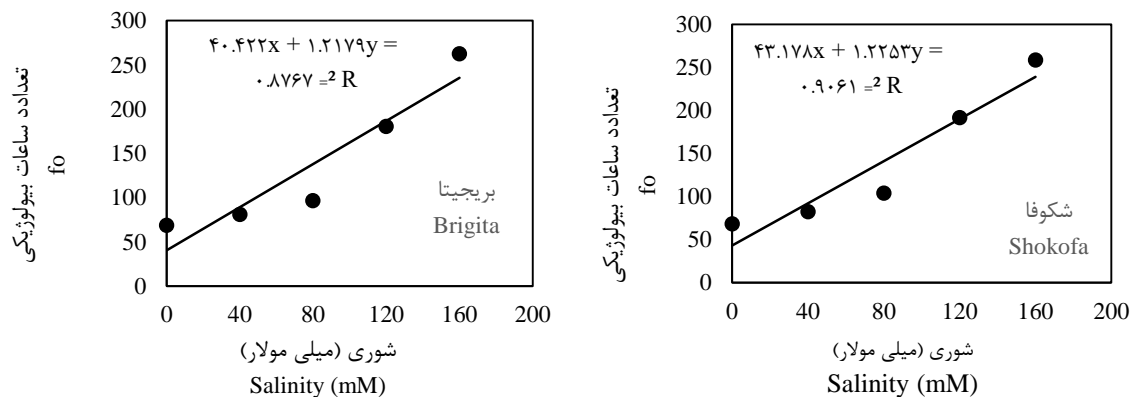
شکل ۵- اثر تنش شوری بر دمای مطلوب به‌دست آمده توسط مدل بتا برای چغندررقند رقم بریجیتا و شکوفا

Figure 5. The effect of salinity stress on optimum temperature achieved by beta model for Shokofa and Brigitata cultivar of *Beta vulgaris* seeds



شکل ۶- اثر تنش شوری بر دمای سقف به‌دست آمده توسط مدل بتا برای بذر چغندررقند رقم بریجیتا و شکوفا

Figure 6. The effect of salinity stress on ceiling temperature achieved by beta model for Shokofa and Brigitata cultivar of *Beta vulgaris* seeds



شکل ۷- اثر تنش شوری بر تعداد ساعات بیولوژیکی به دست آمده توسط مدل بتا برای بذر چغندر قند رقم بریجیتا و شکوفا

Figure 7. The effect of salinity stress on f₀ achieved by beta model for Shokofa and Brigitata cultivar of *Beta vulgaris* seeds

کاهش می‌یابد. الخطیب (AlKhateeb, 2006) بیان داشت که دلیل اثرات شدیدتر دماهای بالا و شوری بالا بر جوانه زنی ممکن است اختلال در عملکرد سیستم‌های آنزیمی و محدودیت در بسیاری از فعالیت‌های فیزیولوژیکی حیاتی برای جوانه زنی باشد.

به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که به ازای افزایش ۴۰ میلی مولار تنش شوری دمای مطلوب برای رقم بریجیتا ۲/۴۶ درجه سانتی‌گراد و برای رقم شکوفا ۲/۶۸ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت، ولی تعداد ساعات بیولوژیکی برای رقم بریجیتا ۴۸/۶۸ و ۴۹ ساعت افزایش را نشان داد. بین دماهای پایه و دمای سقف برآورد شده برای سطوح مختلف تنش شوری اختلاف معنی‌داری وجود نداشت که نشان دهنده عدم وابستگی دمای پایه و دمای سقف این گیاه به تنش شوری است. به طور کلی بین دو رقم استفاده شده از لحاظ دماهای کاردینال اختلاف معنی‌داری وجود داشت و از نظر دماهای کاردینال هر دو رقم بریجیتا و شکوفا در سطوح مختلف تنش شوری از وضعیت یکسانی برخوردار بودند.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش دما تا دمای مطلوب سرعت جوانه زنی افزایش و بعد از آن کاهش یافت، همچنین نتایج نشان داد که با بیشتر شدن تنش شوری سرعت جوانه زنی کاهش یافت که نتایج نشان دهنده حساسیت بیشتر این

با توجه به خطای استاندارد دمای مطلوب در سطوح مختلف تنش شوری مشخص شد که بین سطوح مختلف دمای مطلوب اختلاف معنی‌داری با هم ندارند ولی به طور کلی با بیشتر شدن شدت تنش شوری دمای مطلوب کاهش یافت که در این راستا خلیلی و همکاران (Khalili et al., 2015) بر روی گیاه مرزه اظهار داشتند که با افزایش تنش شوری دمای مطلوب ابتدا افزایش و در سطوح بالاتر تنش شوری کاهش یافت. زهانگ و همکاران (Zhang et al., 2012) بیان داشتند که با افزایش دما اثرات تنش شوری بر جوانه زنی بیشتر شده و کاهش در جوانه زنی بیشتر از دماهای پایین می‌باشد که این مورد را به اثر بیشتر سمیت نمک در دماهای بالا و آسیب‌پذیری و افزایش سیالیت فسفولیپیدی غشا در دماهای بالا نسبت دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش دما و افزایش شدت تنش شوری کاهش درصد جوانه زنی در مقایسه با دماهای پایین بیشتر بود، بنابراین به نظر می‌رسد دلیل کاهش دمای مطلوب با افزایش شدت تنش شوری این موضوع باشد. فرانکوئیس و گودین (Francois and Goodin, 1972) در مطالعه‌ای بر روی چغندر قند بیان داشتند که بالاترین درصد و سرعت‌های جوانه زنی در سطوح مختلف شوری در دماهای ۱۰ الی ۲۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد و در دماهای بالا، اثرات شوری به خصوص شوری‌های شدیدتر بر جوانه زنی بیشتر بود. نامبردگان این موضوع را به اثرات متقابل بین شوری و دما ارتباط دادند که با کاهش دما اثرات منفی شوری

۱۶/۶۷ الی ۲۶/۳۵ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف بین ۴۰/۱۰ الی ۴۰/۸۹ درجه سانتی‌گراد و در رقم شکوفا دمای پایه بین ۲/۸۸ الی ۵/۶۵، دمای مطلوب بین ۱۶/۱۱ الی ۲۶/۴۷ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف بین ۳۹/۹۴ الی ۴۲/۹۴ درجه سانتی‌گراد متغییر بود. نتایج به دست آمده نشان داد که درصد و سرعت جوانه‌زنی در رقم بریجیتا در شرایط تنش شوری و دماهای مختلف بالاتر از رقم شکوفا بود ولی از لحاظ دماهای کاردینال اختلاف معنی‌داری بین دو رقم وجود نداشت.

تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از همکاری دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیروان کمال تشکر و قدردانی را داشته باشند.

صفات به شوری در مقایسه با دما بود. نتایج نشان داد که بیشترین درصد جوانه‌زنی با میانگین ۹۲ درصد مربوط به رقم بریجیتا و دماهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد و شرایط بدون تنش شوری بود و بیشترین سرعت جوانه‌زنی با میانگین ۰/۱۵ (بر ساعت) مربوط به شرایط بدون تنش و دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رقم بریجیتا بود. دمای پایه برآورد شده توسط هر ۳ مدل در سطوح مختلف تنش شوری تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. دمای مطلوب با بیشتر شدن تنش شوری کاهش و تعداد ساعات بیولوژیکی (حداقل زمان لازم برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب) افزایش یافت. در مقایسه ۳ مدل استفاده شده با توجه به پارامترهای CV ، $RMSE$ ، R^2Adj و نمودار خط ۱:۱ مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دماهای کاردینال هر دو رقم مدلتا بود. در رقم بریجیتا دمای پایه بین ۳/۶۷ الی ۵ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب بین

منابع

- Abbasi Bidli, M. and Abdali Mashhadi, A. 2017. Effect of priming on germination characteristics and growth of the *Vigna radiata* (*Shushtar ecotype*) seeding under salinity stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 4(1):75-88. (In Persian)(**Journal**) doi:10.22124/jms.2017.2249
- Acosta, J.M., Bentivegna, D.J., Panigo, E.S. and Dellaferrera, I. 2014. Influence of environmental factors on seed germination and emergence of *Iresine diffusa*. *Weed Research*, 54:584-592. (**Journal**) doi:10.1111/wre.12114
- Al-Khateeb, S.A. 2006. Effect of salinity and temperature on germination, growth and ion relations of *Panicum turgidum* Forssk. *Bioresource Technol*, 97: 292-298. (**Journal**) doi:10.1016/j.biortech.2005.02.041
- Alvarado, V. and Bradford, K.J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperature for seed germination. *Plant Cell and Environment*, 25: 1061-1069. (**Journal**) doi:10.1046/j.1365-3040.2002.00894.x
- Ansari, O., Gherekhloo, J., Ghaderi-Far, F. and Kamkar, B. 2018. Effect of osmotic potential on germination cardinal temperatures of tall mallow (*Malva sylvestris* L.). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 11(2): 341-352. (In Persian)(**Journal**) doi:10.5555/20203126852
- Ansari, O., Gherekhloo, J., Kamkar, B. and Ghaderi-Far, F. 2016. Breaking seed dormancy and determining cardinal temperatures for *Malva sylvestris* using nonlinear regression. *Seed Science and Technology*, 44(3): 1-14. (**Journal**) doi:10.15258/sst.2016.44.3.05
- Blum, A. 1988. *Plant Breeding for Environmental Stress*. CRC press, USA. (**Book**)
- Bradford, K.J. 2002. Application of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. *Weed Science*, 50: 248-260. (**Journal**) doi:10.1614/0043-1745(2002)050[0248:AOHTTQ]2.0.CO;2
- Brown, R.F. and Mayer, G.G. 1988. Representing cumulative germination. The use of the Weibull function and other empirically derived curves. *Annals of Botany*. 6: 127-138. (**Journal**) doi:10.1093/oxfordjournals.aob.a087535
- Deilam, A., Rouhani, H., Sabouri, H. and Gholam Ali Pooralmadari, E. 2019. Effect of drought stress and salinity on germination, soluble carbohydrates and proline of *Atriplex halimus*. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 6(2): 245-255. (In Persian)(**Journal**) doi:20.1001.1.24763780.1398.6.2.9.6

- Derakhshan, A., Gherekhloo, J., Vidal, R.B. and De Prado, R. 2013. Quantitative description of the germination of littleseed canarygrass (*Phalaris minor*) in response to temperature. *Weed Science*, 62: 250-257. **(Journal)** doi:10.1614/WS-D-13-00055.1
- Farhoudi, R. and Khayamim, S. 2019. Evaluation of Iranian sugar beet commercial varieties under salinity stress in germination and establishment growth stages. *Journal of Plant Process and Function*, 9(36): 397-412. (In Persian)**(Journal)**
- Forcella, F., Benech Arnold, R.L. and Sanchez, R. 2000. Modelling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67: 123-139. **(Journal)** doi:10.1016/S0378-4290(00)00088-5
- Francis, S.A. 2007. Development of sugar beet. Blackwell, Hoboken, N.J. **(Book)**
- Francois, L.E. and Goodin, J.R. 1972. Interaction of temperature and salinity on sugar beet germination. *Agronomy Journal*, 64:272 -273. **(Journal)** doi:10.1007/s40003-013-0084-4
- Gholipor, B., Mozaffari, A., Maleki, A., Mirzaei Heydari, M. and Babaii, F. 2021. Determination of the effect of drought and salinity stress on germination and seedlings specifications of sea beet (*Beta vulgaris* ssp. *maritima*) in comparison with sugar beet (*Beta vulgaris*). *Iranian Journal Seed Science and Research*, 10(3): 562-564. (In Persian) **(Journal)** doi:10.22092/ijssst.2020.125547.1263
- Grieve, C.M., Lesch, S., Francois, L.E. and Maas, E.W. 1992. Analysis of main-apike yield components in salt-stressed wheat. *Crop Science*, 32: 697- 703. **(Journal)** doi: 10.2135/cropsci1992.0011183X003200030025x
- Hilhorst, H.W.M. 1998. The regulation of secondary dormancy. The membrane hypothesis revisited. *Seed Science Research*, 8: 77-90. **(Journal)** doi:10.1017/S0960258500003974
- Ibrahim, E.A. 2016. Seed priming to alleviate salinity stress in germinating seeds. *Journal of Plant Physiology*, 15(192): 38-46. **(Journal)** doi:10.1016/j.jplph.2015.12.011
- Jafarzadeh, A.A. and Aliasgharzad, N. 2007. Salinity and salt composition effects on seed germination and root length of four sugar beet cultivars. *Bratislava Bio-Economy*, 62(5): 562-564. **(Journal)** doi: 10.2478/s11756-007-0111-7
- Jalilian, A., Mazaheri, D., Tavakol Afshari, R., Elahian, M. and Ghohari, J. 2005. Estimation of base temperature and the investigation of germination and field emergence trend of monogerm sugar beet under various temperatures. *Journal of Sugar Beet*, 20(2): 97-112. **(Journal)** doi:10.22092/jsb.2005.6866
- Jalilian, A., Mazaheri, D., Tavakol Afshari, R., Elahian, M., Rahimian Mashhadi, H. and Ahmadi, A. 2009. Effect of freezing damage at seedling stage in different sugar beet cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 10 (4): 400-415. (In Persian)**(Journal)**
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M. and Mahdavi-Damghani, A. 2011. 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. **(Journal)** doi: 10.1016/j.indcrop.2011.06.033
- Kaya, M.D., Okcu, G., Atak, M., Cıkkılı, Y. and Kolsarıcı, O. 2006. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *European Journal of Agronomy*, 24: 291- 295. **(Journal)** doi:10.1016/j.indcrop.2011.06.033
- Khalili, N., Kamkar, B. and Khodabakhshi, A. 2015. Quantifying and analysis of germination responses of annual savory (*Satureja hortensis* L.) to temperature and salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 8(1): 83-92. (In Persian)**(Journal)** doi:10.1016/j.eja.2005.08.001
- Khodabakhshi, A., Kamkar, B. and Khalili, N. 2015. Using nonlinear regression models to quantify germination response of annual savory to temperature and water potential. *Journal of Crops Management*. 17(1): 229-240. (In Persian) **(Journal)** doi:8e34eccbc30b066876ba9f76058f1066
- Khyamim, S., Tavakkol Afshari, R., Sadeghian Motahar, S.Y. and Poostini, K. 2012. Effect of salinity stress on sugar beet seed germination indices in laboratory and greenhouse conditions. *Iranian Journal of Crop Science*. 13(1): 1-17. (In Persian) **(Journal)** doi:20.1001.1.15625540.1390.13.1.1.5
- Li, Q., Tan, J., Li, W., Yuan, G., Du, L., Ma, S. and Wang, J. 2015. Effects of environmental factors on seed germination and emergence of Japanese brome (*Bromus japonicus*). *Weed Science*. 63: 641-649. **(Journal)**

- Khalili, N., Kamkar, B. and Khodabakhshi, A.H. 2015. Quantifying and analysis of germination responses of annual savory (*Satureja hortensis* L.) to temperature and salinity stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*. 8(1): 83-92. (In Persian) **(Journal)**
- Nonogaki, H., Bassel, G.W. and Bewley, J.D. 2010. Germination still a mystery. *Plant Sciend*, 179: 574–81. **(Journal)** doi:10.1614/WS-D-14-00131.1
- Nozari-nejad, M., Zeinali, E., Soltani, A., Soltani, E. and Kamkar, B. 2014. Quantify wheat germination rate response to temperature and water potential. *Crop Production*, 6(4): 117-135. (In Persian)**(Journal)** doi:20.1001.1.2008739.1392.6.4.7.9
- Patade, V.Y., Maya, K. and Zakwan, A. 2011. Seed priming mediated germination improvement and tolerance to subsequent exposure to cold and salt stress in capsicum. *Research Journal of Seed Science*, 4 (3): 125 -136. **(Journal)** doi:10.3923/rjss.2011.125.136
- Piper, E.L., Boote, K.J., Jones, J.W. and Grimm, S.S. 1996. Comparison of two phenology models for predicting flowering and maturity date of soybean. *Crop Science*, 36: 1606–1614. **(Journal)** doi:10.2135/cropsci1996.0011183X003600060033x
- Shafii, B. and Price, W.J. 2001. Estimation of cardinal temperatures in germination data analysis. *Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics*, 6: 356–366. **(Journal)** doi:10.1198/108571101317096569
- Soltani, A., Gholipoor, M. and Zeinali, E. 2006. Seed reserve utilization and seedling growth of wheat as affected by drought and salinity. *Environmental and Experimental Botany*, 55: 195–200. **(Journal)** doi:10.1016/j.envexpbot.2004.10.012
- Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M. and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138, 156–167. **(Journal)** doi:10.1016/j.agrformet.2006.04.004
- Tanveer, A., Khan, M.A., Ali, H.H., Javaid, M.M., Raza, A. and Chauhan, B.S. 2020. Influence of different environmental factors on the germination and seedling emergence of *Ipomoea eriocarpin* R. Br. *Crop Protection*, 130: 105070. **(Journal)** doi:10.1016/j.cropro.2019.105070
- Van't Hoff, J.H. 1887. The role of osmotic pressure in the analogy between solution and gases. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*. 1: 481-508. **(Journal)** doi:10.1016/0376-7388(94)00232-N
- Wang, J., Ferrell, J., MacDonald, G. and Sellers, B. 2009. Factors affecting seed germination of *Cadillo (Urena lobata)*. *Weed Science*, 57: 31-35. **(Journal)** doi:10.1614/WS-08-092.1
- Wei, S., Zhang, C., Li, X, Cui, H., Huang, H., Sui, B., Meng, Q. and Zhang, H. 2009. Factors affecting *Buffalobur (Solanum rostratum)* seed germination and seedling emergence. *Weed Science*, 57: 521-525. **(Journal)** doi:10.1614/WE-09-054.1
- Wu, X., Li, J., Xu, H. and Dong, L. 2015. Factors affecting seed germination and seedling emergence of Asia Minor bluegrass (*Polypogon fugax*). *Weed Science*, 63: 440-447. **(Journal)** doi:10.1614/WS-D-14-00093.1
- Yin, X., Kropff, M.J., McLaren, G. and Visperas, R.M. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 77: 1–16. **(Journal)** doi:10.1016/0168-1923(95)02236-Q
- Zare, A., Deri, F. and Karimi, Z. 2021. Determination of cardinal temperature and evaluation of germination characteristics of Syrian Thistle (*Notobasis syriaca*) in response to temperature range and salinity and drought stresses. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 8(1): 91-10. **(Journal)** doi:10.52547/yujs.8.1.91
- Zhang, H., Irving, L.J., Tian, Y. and Zhou, D. 2012. Influence of salinity and temperature on seed germination rate and the hydrotimic model parameters for the halophyte, *Chloris virgata*, and the glycophyte, *Digitaria sanguinalis*. *South African Journal of Botany*, 78: 203-210. **(Journal)** doi: 10.1016/j.sajb.2011.08.008



Quantification of germination response of two sugar beet cultivars to temperature and salinity: nonlinear regression models

Esmail Shirghani¹, Majid Rahimizadeh^{2*}, Maryam Tatari³, MohammadReza Tookaloo⁴

Received: November 7, 2023

Accepted: February 4, 2024

Abstract

This study was conducted with the aim of investigating the effect of salinity stress and different temperatures on germination and determining the cardinal temperatures of germination (basic, optimal and ceiling germination temperatures) of two sugar beet cultivars. Experimental treatments included different levels of salinity stress (0, 40, 80, 120 and 160 mM) and different temperatures (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 40 °C). The three-parameter sigmoidal model was used to determine the time to reach 50% germination. The results showed that temperature and salinity stress had an effect on germination percentage and germination rate. In addition, the results showed that with increasing temperature up to optimum temperature, the germination percentage and germination rate increased, and with increasing salinity stress, the germination percentage and also the germination rate decreased. The germination percentage and germination rate in Brigitta variety was higher than that of Shokofa variety. According to the RMSE, CV, R²Adj, SE parameters, the beta model was the most suitable model for both sugar beet cultivars. In the Brigitta variety, the base temperature is between 3.67 and 5 °C, the optimal temperature is between 16.67 and 26.35 °C, and the roof temperature is between 40.10 and 40.89 °C, and in the shokofa variety, the base temperature is between 2.88 and 2.80 °C. 5.65, the optimum temperature varied between 16.11 and 26.47 °C and the ceiling temperature between 39.94 and 42.94 °C. The obtained results showed that the percentage and speed of germination in Brigitta variety under salinity stress conditions and different temperatures was higher than that of Shokofa variety, but there was no significant difference between the two varieties in terms of cardinal temperatures. Therefore, by using the output of these models at different temperatures, it is possible to predict the germination speed at different potentials.

Keywords: Beta model; Dent mode; Germination; Salinity stress; Segmented model; Sugar beet

How to cite this article

Shirghani, E., Rahimizadeh, M., Tatari, M. and Tookaloo, M.R. 2024. Quantification of germination response of two sugar beet cultivars to temperature and salinity: nonlinear regression models. Iranian Journal of Seed Science and Research, 11(1): 51-67. (In Persian)(Journal)

DOI: [10.22124/jms.2024.8038](https://doi.org/10.22124/jms.2024.8038)

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1. PhD student of Agronomy, Department of Agriculture, Shirvan Branch, Islamic Azad University, Shirvan, Iran. farid.shirghani@gmail.com
2. Assistant Professor, Department of Agriculture, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, Bojnourd, Iran. rahimi1347@gmail.com
3. Assistant Professor, Department of Agriculture, Shirvan Branch, Islamic Azad University, Shirvan, Iran. maryamtatari@yahoo.com
4. Assistant Professor, Department of Agriculture, Bojnourd Branch, Islamic Azad University, Bojnourd, Iran. mr_tookaloo@yahoo.com

*Corresponding author: rahimi1347@gmail.com