نهمین کنفرانس ملی و اولین کنفرانس بین‌المللی فیزیولوژی گیاهی
9th National and 1st International Conference of Plant Physiology
۲۷–۲۹ بهمن ۱۴۰۴، دانشگاه گیلان

مدلسازی پاسخ جوانه‌زنی بذر سه رقم پیاز به دما با استفاده از مدل‌های دندان‌مانند، سگمنتد و بتا

ایوب قربانی دهکردی[1*]، سید جواد موسوی‌زاده[1]، فاطمه رضائی[1]
۱- گروه علوم باغبانی و فضای سبز، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
(* نویسنده مسئول: Ghorbani.ayoub@gau.ac.ir)

چکیده

دما یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی مؤثر بر جوانه‌زنی بذر گیاهان است و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی نقش اساسی در مدیریت کاشت و پیش‌بینی استقرار گیاه دارد. این پژوهش با هدف برآورد دماهای پایه (Tb)، بهینه (To) و حداکثر (Tc) جوانه‌زنی بذر سه رقم پیاز شامل حیدرآباد، قرمز آذرشهر و تگزاس زرد اولیه با استفاده از سه مدل شبیه‌سازی دندان‌مانند، سگمنتد و بتا در سال ۱۴۰۴ در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شد. این آزمایش به صورت طرح کاملا تصادفی با سه تکرار و در هشت دما (از پنج الی ۴۰ درجه سانتی‌گراد با فاصله پنج درجه) و برای سه رقم پیاز انجام شد. درنهایت و با توجه به مدل‌های به دست آمده و اعتبار سنجی مدل‌ها مشخص شد که در رقم حیدرآباد و قرمز آذرشهر بهترین مدل شبیه‌سازی جوانه‌زنی بذر مدل دندانه‌ای با ضریب تبیین به ترتیب ۹۴ و ۹۹ درصد (با Tb ۱۰ درجه سانتی‌گراد برای هر دو رقم، To1 ۷۶/۱۸ و ۹۷/۱۸ درجه سانتی‌گراد، To2 ۰۸/۲۸ و ۷۲/۱۹ درجه سانتی‌گراد و Tc ۳۵ و ۷۶/۲۴ درجه سانتی‌گراد) و در رقم تگزاس زرد اولیه مدل سگمنتد با ضریب تبیین ۸۶ درصد (Tb ۳۲/۹، To ۰۸/۳۱ و Tc ۴۳/۳۸ درجه سانتی‌گراد) بود.

کلمات کلیدی: دمای کاردینال، تگزاس زرد اولیه، حیدرآباد، قرمز آذرشهر

مقدمه

پیاز (*Allium cepa* L.) یکی از محصولات مهم زراعی در جهان و ایران است که کیفیت و عملکرد آن به شدت تحت تأثیر استقرار اولیه گیاه قرار دارد. جوانه‌زنی بذر پیاز به دما حساس بوده و دماهای نامناسب می‌تواند باعث تأخیر در سبز شدن یا کاهش درصد جوانه‌زنی شود. از این رو، شناخت دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر پیاز برای انتخاب زمان کاشت مناسب و مدیریت زراعی ضروری است (Moradi-Shakoorian *et al.*, 2023). از جمله روش‌های تجاری کاشت پیاز در مناطق مختلف می‌توان به کاشت مستقیم بذر، تولید نشاء و کاشت سوخک اشاره کرد (Ketema *et al.*, 2018).

جوانه‌زنی بذر به‌عنوان یکی از مراحل کلیدی در آغاز چرخه رشد گیاهان، نقش تعیین‌کننده‌ای در استقرار اولیه، یکنواختی سبز شدن، توان رقابت با علف‌های هرز و در نهایت دستیابی به عملکرد و کیفیت مطلوب محصول ایفا می‌کند. اختلال در این مرحله حساس می‌تواند منجر به کاهش تراکم گیاهی و افت قابل توجه عملکرد شود. در این میان، عوامل محیطی متعددی بر فرایند جوانه‌زنی اثرگذارند که در بین آن‌ها دما به‌عنوان مهم‌ترین عامل، کنترل‌کننده سرعت، درصد و یکنواختی جوانه‌زنی شناخته می‌شود. هر گونه گیاهی تنها در محدوده مشخصی از دما قادر به جوانه‌زنی است و این محدوده با استفاده از دماهای کاردینال شامل دمای پایه (Tb)، دمای بهینه (To) و دمای حداکثر (Tc) تعریف می‌شود. دمای پایه حداقل دمای مورد نیاز برای آغاز جوانه‌زنی، دمای بهینه نشان‌دهنده شرایطی است که بیشترین سرعت جوانه‌زنی در آن رخ می‌دهد و دمای حداکثر بیانگر آستانه بالای تحمل بذر برای جوانه‌زنی است (Karimzadeh Soureshjani *et al.*, 2019). بنابراین، تعیین دقیق دماهای کاردینال جوانه‌زنی در ارقام مختلف کاهو می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای تنظیم تاریخ کاشت و انتخاب رقم مناسب در شرایط اقلیمی گوناگون فراهم آورد (Wei *et al.*, 2024).

در سال‌های اخیر، به‌منظور توصیف و پیش‌بینی پاسخ جوانه‌زنی بذر به تغییرات دما، مدل‌های ریاضی متنوعی توسعه یافته است. از میان این مدل‌ها، مدل‌های دندان‌مانند، سگمنتد و بتا به‌طور گسترده در مطالعات جوانه‌زنی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و هر یک با ساختار و فرضیات متفاوت، واکنش جوانه‌زنی به دما را شبیه‌سازی می‌کنند (Ullah *et al.*, 2024). بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر سه رقم پیاز و ارزیابی و مقایسه کارایی این مدل‌ها در شبیه‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به دما انجام شد.

مواد و روش‌ها

در سال ۱۴۰۴ پژوهشی در گروه علوم باغبانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به منظور ارزیابی دماهای کاردینال سه رقم پیاز بوسیله مدل‌های جوانه‌زنی به صورت طرح کاملا تصادفی و با سه تکرار انجام شد. در این پژوهش، بذر سه رقم پیاز شامل رقم حیدرآباد، قرمز آذرشهر و تگزاس زرد اولیه مورد استفاده قرار گرفت. بذرها از مراکز معتبر فروش بذر تهیه و از نظر یکنواختی اندازه و سلامت ظاهری انتخاب شدند. آزمون جوانه‌زنی بذر در دامنه‌ای از دماهای ۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد و در هشت سطح دمایی با فواصل ۵ درجه انجام شد (Karimzadeh Soureshjani *et al.*, 2019). پیش از آغاز آزمایش، پتری‌دیش‌ها، کاغذ صافی و آب مورد استفاده به‌منظور جلوگیری از آلودگی، با اتوکلاو استریل شدند. در هر پتری‌دیش ۵۰ بذر قرار داده شد و برای هر تکرار، چهار پتری‌دیش در نظر گرفته شد. بذرها روی کاغذ صافی مرطوب قرار داده شده و سپس در ژرمیناتورهایی با دماهای مختلف انکوبه شدند. پایش جوانه‌زنی به‌صورت منظم و در فواصل زمانی ۱۲ ساعته انجام گرفت و تعداد بذرهای جوانه‌زده در هر نوبت ثبت شد. خروج ریشه‌چه به طول حداقل دو میلی‌متر از پوسته بذر به‌عنوان معیار وقوع جوانه‌زنی در نظر گرفته شد. در صورتی که دو روز متوالی بذرها جوانه‌زنی نداشتند به پایان جوانه‌زنی ثبت گردید (Karimzadeh Soureshjani *et al.*, 2019).

در ادامه، تغییرات درصد تجمعی جوانه‌زنی برحسب زمان (ساعت) ترسیم و داده‌ها با استفاده از مدل لجستیک برازش شدند. بر پایه معادله لجستیک، زمان مورد نیاز برای دستیابی به ۵۰ درصد جوانه‌زنی محاسبه گردید. به‌منظور توصیف واکنش جوانه‌زنی به دما، از سه مدل دندان‌مانند (Dent-like)، سگمنتد (Segmented) و بتا (Beta) استفاده شد (Cabrera-Santos et al., 2022; Karimzadeh Soureshjani *et al.*, 2019). با برازش این مدل‌ها بر داده‌های تجربی، دماهای کاردینال شامل دمای پایه (Tb)، دمای بهینه (To) و دمای حداکثر یا سقف (Tc) برای هر رقم برآورد شد؛ در مدل دندان‌مانند، دو دمای بهینه اول (To1) و دوم (To2) نیز محاسبه گردید. ارزیابی کارایی مدل‌ها بر اساس ضریب تبیین (R^2)، مجموع مربعات خطا (RSS) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) انجام پذیرفت. تحلیل داده‌ها و برازش مدل‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۴/۹ صورت گرفت و ترسیم نمودارها در نرم‌افزار Origin Pro 2024 انجام شد (Karimzadeh Soureshjani *et al.*, 2019).

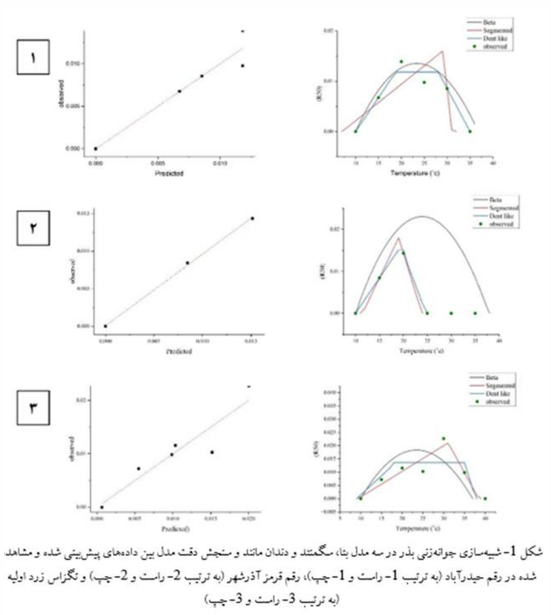
نتایج و بحث

در بین مدل‌های برازش شده با توجه به برآورد بین نتایج پیش‌بینی شده و مشاهده شده، مشخص شد که در رقم‌های حیدرآباد و قرمز آذرشهر بهترین مدل شبیه‌سازی جوانه‌زنی بذر مدل دندان مانند با ضریب تبیین به ترتیب ۹۴ و ۹۹ درصد و در رقم تگزاس زرد اولیه مدل سگمنتد با ضریب تبیین ۸۶ درصد بود (شکل ۱). بر این اساس می‌توان برای ارقام حیدرآباد و قرمز آذرشهر بر اساس مدل دندانه‌ای دمای پایه ۱۰ درجه سانتی‌گراد، دمای بهینه با رنج ۰۸/۲۸–۷۶/۱۸ درجه سانتی‌گراد برای رقم حیدرآباد و ۷۲/۱۹–۹۷/۱۸ درجه سانتی‌گراد برای رقم قرمز آذرشهر را معرفی نمود که در مطالعات دیگر نیز رنج تغییرات در مدل دندان مانند بسته به نوع رقم تفاوت‌هایی را نشان می‌داد (Moradi-Shakoorian *et al.*, 2023). همچنین بر اساس مدل سگمنتد در رقم تگزاس زرد اولیه، دمای پایه، بهینه و حداکثر به ترتیب ۳۲/۹، ۰۸/۳۱ و ۴۳/۳۸ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. وجود دو دمای بهینه (To1 و To2) در مدل دندان مانند نیز بیانگر گستره‌ای از دماهاست که در آن سرعت جوانه‌زنی نزدیک به حداکثر باقی می‌ماند، موضوعی که در برخی گونه‌های سبزی گزارش شده است (Sang *et al.*, 2025).

بر اساس نتایج به دست آمده کمترین دمای پایه مربوط به رقم حیدرآباد در مدل سگمنتد به میزان ۰۶/۷ درجه سانتی‌گراد و بیشترین آن در مدل سگمنتد برای رقم قرمز آذرشهر به میزان ۴۶/۱۱ درجه سانتی‌گراد بود. محدوده دمای بهینه در مدل‌های مختلف بین دمای ۰۱/۱۹ الی ۰۸/۳۱ درجه سانتی‌گراد بود به استثناء مدل دندانه‌ای با رنج دمای بهینه ۷۶/۱۸ الی ۰۶/۳۶ درجه سانتی‌گراد. بیشترین میزان دمای حداکثر نیز در مدل دندانه‌ای و برای رقم تگزاس زرد اولیه به میزان ۶۶/۳۸ درجه سانتی‌گراد بود (جدول ۱). تفاوت در دمای پایه بیانگر تنوع ژنتیکی ارقام پیاز در تحمل دماهای پایین و توانایی آغاز فرایند جوانه‌زنی در شرایط سردتر است. گزارش شده است که ارقام بومی یا محلی معمولاً سازگاری بیشتری با شرایط محیطی منطقه کشت داشته و می‌توانند در دماهای پایین‌تر جوانه‌زنی را آغاز کنند (Ullah *et al.*, 2024).

جدول 1- دماهای کاردینال به دست آمده در سه مدل شبیه‌سازی جوانه‌زنی بذر سه رقم پیاز

صفات (°c)	رقم	بتا	سگمنتد	دندان مانند
دمای پایه (Tb)	حیدر آباد	10	7/06	10
	قرمز آذرشهر	10	11/46	10
	تگزاس زرد اولیه	10	9/32	10
دمای بهینه (To)	حیدر آباد	24/75	29/09	18/76 To1
				28/08 To2
	قرمز آذرشهر	24/45	19/01	18/97 To1
				19/72 To2
	تگزاس زرد اولیه	25/65	31/08	19/43 To1
				36/06 To2
دمای حداکثر (Tc)	حیدر آباد	36/78	31/04	35
	قرمز آذرشهر	37/85	23/87	24/76
	تگزاس زرد اولیه	36/94	38/43	38/66



شکل 1- شبیه‌سازی جوانه‌زنی بذر در سه مدل بتا، سگمنتد و دندان مانند و سنجش دقت مدل بین داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهد شده در رقم حیدرآباد (به ترتیب 1- راست و 1- چپ)، رقم قرمز آذرشهر (به ترتیب 2- راست و 2- چپ) و تگزاس زرد اولیه (به ترتیب 3- راست و 3- چپ)

مقایسه دقت مدل‌ها نشان داد که برای ارقام حیدرآباد قرمز آذرشهر مدل دندانه‌ای به ترتیب با ضرایب تبیین ۹۴ و ۹۹ درصد بهترین عملکرد را داشت، در حالی‌که برای رقم تگزاس زرد اولیه ، مدل سگمنتد با ضریب تبیین ۸۶ درصد مناسب‌ترین مدل بود (جدول ۲). بررسی مقادیر RMSE حاکی از آن بود که رقم قرمز آذرشهر با مقدار RMSE کمتر نسبت به دیگر ارقام سهم کمتری از تغییرات محیطی و تاثیر آن بر جوانه‌زنی بذر را نشان داد.. این نتایج تأیید می‌کند که انتخاب مدل مناسب برای شبیه‌سازی جوانه‌زنی به ویژگی‌های رقم وابسته است و یک مدل واحد لزوماً برای همه ارقام بهترین عملکرد را ندارد (Cabrera-Santos *et al.*, 2022). در مجموع، استفاده از مدل‌های دماپایه می‌تواند ابزار مؤثری برای پیش‌بینی جوانه‌زنی و تعیین زمان بهینه کاشت ارقام مختلف پیاز در شرایط اقلیمی گوناگون باشد. همچنین مقادیر پایین RSS در سه رقم مورد مطالعه نشان دهنده خطای پایین مدل می‌باشد (جدول ۲).

جدول 2- شاخص‌های سنجش دقت مدل بین داده‌های پیش‌بینی شده و مشاهده شده در جوانه‌زنی بذر سه رقم پیاز

	حیدرآباد	قرمز آذرشهر	تگزاس زرد اولیه
R^2	0/94	0/99	0/86
RMSE	0/00146	$2/71943\times10^{-4}$	0/00299
RSS	$8/51467\times10^{-6}$	$1/47906\times10^{-7}$	$3/58672\times10^{-5}$

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر پیاز به رقم و مدل مورد استفاده وابسته است. در میان مدل‌های بررسی‌شده، مدل دندان مانند بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به دما برای ارقام حیدرآباد و قرمز آذرشهر و مدل سگمنتد بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی پاسخ جوانه‌زنی به دما برای رقم تگزاس زرد اولیه داشت. این یافته‌ها می‌تواند در انتخاب رقم مناسب و تعیین زمان بهینه کاشت پیاز در شرایط اقلیمی مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

Cabrera-Santos, D., Ordoñez-Salanueva, C. A., Sampayo-Maldonado, S., Campos, J. E., Orozco-Segovia, A., Flores-Ortiz, C. M., Cabrera-Santos, D., Ordoñez-Salanueva, C. A., Sampayo-Maldonado, S., Campos, J. E., Orozco-Segovia, A., & Flores-Ortiz, C. M. (2022). Quantifying Cardinal Temperatures of Chia (*Salvia hispanica* L.) Using Non-Linear Regression Models. *Plants*, *11*(9). https://doi.org/10.3390/plants11091142

Karimzadeh Soureshjani, H., Bahador, M., Tadayon, M., & Ghorbani Dehkordi, A. (2019). *Modelling seed germination and seedling emergence offlax and sesame as affected by temperature, soil bulk density, and sowing depth*. 1–8. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111770

Ketema, S., Dessalegn, L., & Tesfaye, B. (2018). Effect of Planting Methods on Growth of Onion. *Advances in Applied Physiology*, *3*(1), 8–13. https://doi.org/10.11648/j.aap.20180301.12

Moradi-Shakoorian, Z., Delshad, M., Carlos Diaz-Perez, J., Askari-Sarcheshmeh, & Nambeesan, . (2023). Onion (*Allium cepa* L.) seed germination affected by temperature and water potential: Hydrothermal time model. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *35*, 100495. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2023.100495

Sang, I. O., Kyung, H. S., Myung, S. A., & Hye, S. J. (2025). Analysis of the Cardinal Temperature for Seed Germination of Orychophragmus violaceus (L.) O. E. Schulz Using Bilinear, Parabolic, and Beta Distribution Regression Models | Request PDF. *ResearchGate*, *32*(3), 132–139. https://doi.org/10.11623/frj.2024.32.3.03

Ullah, I., Ullah, S., Amin, F., Al-Hawadi, J. S., Okla, M. K., Alaraidh, I. A., AbdElgawad, H., Liu, K., Harrison, M. T., Saud, S., Hassan, S., Nawaz, T., Zhu, M., Liu, H., & Fahad, S. (2024). Germination responses of Lens Culiunaris L. seeds to osmotic potentials at cardinal temperatures using hydrothermal time model. *BMC Plant Biology*, *24*(1), 502. https://doi.org/10.1186/s12870-024-05223-0