

Research Article

Quantifying and analysis of germination responses of invasive weed western ragweed) *Ambrosia psilostachya*) to temperature under different water potential conditions

Mahaboubeh Shabazi Miyangaskari¹, Jafar Asghari^{2*}, Behnam Kamkar³, Edris Taghvaei Salimi⁴

Extended abstract

Introduction: The germination process is one of the most critical stages of a plant's growth and determines the success of the emergence of a weed in an agroecosystem, as it is the first stage in which the weed competes for a niche. Various environmental factors including temperature and moisture, affect the germination of weed seeds. Modeling techniques are capable of predicting germination, seedling emergence, and establishment of weed species. The ability to predict weed germination in response to environmental conditions is very effective for the development of control programs. The present research was conducted to determine the cardinal temperature and evaluate the best model for quantifying the response of the germination rate of western ragweed weed seeds under different water stress conditions.

Materials and Methods: A factorial experiment was conducted in the form of a completely randomized design with three replications. The investigated factors included temperature at eight levels (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, and 40 °C) and water potential at six levels (0, -0.3, -0.6, -0.9, -1.2, and -1.5 MPa) on the germination of western ragweed. In order to quantify the response of western ragweed germination rate to temperature, three non-linear Dent-like, Beta, and Segmented regression models were used.

Results: The results showed that the effect of temperature, water potential, and their interactions on maximum germination, germination rate, and time required to reach 10, 50, and 90 percent germination were significant. Also, the results showed that by increasing the temperature from 10 to 25 °C, the percentage and rate of germination increased whereas by increasing water potential, the percentage and rate of germination decreased. During the comparison of the models, based on RMSE, R², CV, and coefficients *a* and *b* parameters, the Beta model was the most suitable for estimating the cardinal temperatures of western ragweed. The base, optimum, and ceiling temperatures using the Beta model were 3.88, 25, and 40 °C, respectively.

Conclusions: The use of the Beta model to quantify the germination response of western ragweed seeds to different levels of water potential at different temperatures had acceptable results. Therefore, it is possible to predict the germination rate at different potentials. using the output of these models at different temperatures.

Keywords: Cardinal temperatures, Drought stress, Germination rate, Nonlinear regression models

Highlights:

- 1- Germination cardinal temperatures and the effect of water potential on western ragweed weed were investigated.
- 2- Different models to quantify the response of germination rate to temperature and different water potentials were estimated.

¹ PhD student, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Guilan, Rasht, Iran.

² Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Guilan, Rasht, Iran.

³ Professor, Agrotechnology Department, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

⁴ Assistant Prof., Department of Range and Watershed Management, University of Guilan, Sowme Sara, Iran.

*Corresponding author, E-mail: asghari@guilan.ac.ir



مقاله پژوهشی

کمّی‌سازی و تحلیل واکنش‌های جوانه‌زنی علف‌هرز مهاجم آمبروزیا (*Ambrosia psilostachya*) به دما و شرایط پتانسیل رطوبتی مختلف

محبوبه شهبازی^۱، جعفر اصغری^{۲*}، بهنام کامکار^۳، ادریس تقوای سلیمی^۴

چکیده مبسوط

مقدمه: جوانه‌زنی از مهم‌ترین مراحل نمو یک گیاه و تعیین‌کننده‌ی موفقیت ظهور یک علف‌هرز در یک بوم نظام زراعی می‌باشد، زیرا اولین مرحله‌ای است که در آن علف‌هرز به رقابت جهت تصاحب یک آشیانه‌ی بوم شناختی می‌پردازد. عوامل محیطی مختلف از جمله دما و رطوبت، جوانه‌زنی بذرهای علف‌هرز را تحت تأثیر قرار می‌دهند. روش‌های مدل‌سازی، قابلیت پیش‌بینی جوانه‌زنی، ظهور گیاهچه و استقرار گونه‌های علف‌هرز را دارند. توانایی پیش‌بینی جوانه‌زنی علف‌های هرز در پاسخ به شرایط محیطی جهت توسعه‌ی برنامه‌های تنظیم محور بسیار موثر است. پژوهش حاضر با هدف تعیین دمای ویژه جوانه‌زنی و همچنین ارزیابی بهترین مدل جهت کمّی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی بذر علف‌هرز آمبروزیا تحت شرایط تنش رطوبتی مختلف طراحی و اجرا شد. مواد و روش‌ها: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام شد. عوامل مورد بررسی شامل دما با هشت سطح (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس) و پتانسیل رطوبتی با شش سطح (صفر، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲ و ۱/۵- مگاپاسکال) بودند. برای کمّی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی بذر آمبروزیا به دما از سه مدل رگرسیون غیرخطی دندان مانند، بتا و دو تکه‌ای استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد تأثیر دما، پتانسیل رطوبتی و برهمکنش آن‌ها بر بیشینه جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی و زمان لازم برای رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی معنی‌دار بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دما از ۱۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس، درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت و با منفی‌تر شدن پتانسیل رطوبتی، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. در مقایسه سه مدل استفاده شده با توجه به پارامترهای جذر میانگین مربعات، ضریب تبیین، ضریب تغییرات و ضرایب a و b مناسب‌ترین مدل جهت تخمین دماهای ویژه جوانه‌زنی آمبروزیا مدل بتا بود. دمای پایه، دمای مطلوب و سقف با استفاده از مدل بتا به ترتیب ۳/۸۸، ۲۵ و ۴۰ درجه سلسیوس بود.

نتیجه‌گیری: استفاده از مدل بتا جهت کمّی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر آمبروزیا به سطوح مختلف پتانسیل رطوبتی در دماهای مختلف دارای نتایج قابل قبولی بود؛ بنابراین با استفاده از خروجی این مدل در دماهای مختلف می‌توان سرعت جوانه‌زنی را در پتانسیل‌های مختلف رطوبتی پیش‌بینی نمود.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، دماهای ویژه، سرعت جوانه‌زنی، مدل‌های رگرسیون

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- دماهای ویژه جوانه‌زنی و تأثیر پتانسیل رطوبتی بر علف‌هرز آمبروزیا بررسی شد.
- ۲- مدل‌های مختلف برای کمّی‌سازی واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و پتانسیل‌های مختلف رطوبتی برآورد شد.

^۱ دانشجوی دکتری زراعت، گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

^۲ استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

^۳ استاد، گروه آگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

^۴ استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گیلان، صومعه سرا، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: asghari@guilan.ac.ir

DOR:

[DOI: 10.61186/yujs.10.2.67](https://doi.org/10.61186/yujs.10.2.67)

CrossMark

شاپا: ۲۳۸۳-۱۴۸۰ (برخط): ۲۳۸۳-۱۲۵۱ (چاپی)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۴/۱۰؛ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۸/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۸/۲۴؛ تاریخ انتشار برخط: ۱۴۰۲/۱۲/۲۰

مقدمه

آمبروزیا از خانواده Asteraceae، از مهم‌ترین گیاهان مهاجم در دنیا بوده و دارای ۴۰ گونه می‌باشد (مانتگنانی^۱ و همکاران، ۲۰۱۷). بذرهای آمبروزیا بیشتر در اطراف و پای بوته مادری ریخته می‌شوند. بذرهای تازه برداشت‌شده این گیاه، حتی در شرایط مطلوب قادر به جوانه‌زنی نبوده، درحالی‌که بذرهای سال‌های پیشین در تمام طول سال، می‌توانند جوانه زده و گیاهچه تولید کنند (رستمی^۲، ۲۰۱۴). گونه *Ambrosia psilostachya* DC. بومی آمریکای شمالی می‌باشد و به‌سرعت در مناطق معتدل جهان در حال گسترش است. این گونه، علف‌هرزی چندساله و ایستا است که با بذر و ریزوم تکثیر می‌یابد (چراغیان^۳، ۲۰۱۶). در ایران نیز در سال ۱۳۹۶ گونه *Ambrosia psilostachya* توسط توکاسی^۴ و همکاران (۲۰۱۷) در استان گیلان-شهرستان بندرانزلی-مشاهده و گزارش شد. به‌دلیل دائمی‌بودن، ارتفاع بلندتر و طول دوره رشد طولانی‌تر، این گونه توانایی غالب‌شدن بر فلور بومی منطقه مورد تهاجم را دارد (توکاسی و همکاران، ۲۰۱۷). آفتاب کامل، خاک دارای مواد غذایی و کمی اسیدی برای رشد این گونه مناسب می‌باشد، ولی به‌آسانی در مکان‌های عاری از مواد معدنی، دارای پوشش گیاهی پراکنده و دارای درصد کمی از مواد آلی، قادر به استقرار می‌باشد. علف‌هرز آمبروزیا برای رشد به بافت خاک حساس نبوده و شرایط خشک و غرقاب خاک را به‌خوبی تحمل می‌کند (پینک^۵ و همکاران، ۲۰۱۱). این گونه در لیست علف‌های هرز مضر جهان قرار داشته و قادر است اراضی مرتعی، حاشیه جاده‌ها، زمین‌های رها شده و دستکاری‌شده توسط انسان را تسخیر کند. آمبروزیا با قدرت رقابت بالا سبب کاهش عملکرد گیاهان علوفه‌ای (ویدوتو^۶ و همکاران، ۲۰۱۳)، گندمیان (ویدوتو و همکاران، ۲۰۱۳؛ سوکور^۷ و همکاران، ۲۰۲۲) و چغندر (بوتسنس^۸ و همکاران، ۲۰۰۹) شد.

دما و رطوبت از مهم‌ترین عوامل محیطی موثر بر جوانه‌زنی بذرهای می‌باشند. در تمامی گیاهان درصد و سرعت جوانه‌زنی تحت تاثیر دما قرار می‌گیرد. علاوه بر دما، در دسترس‌بودن آب نیز از عوامل موثر بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرهای می‌باشد. در بیش‌تر بذرهای، جوانه‌زنی تنها زمانی صورت می‌گیرد که رطوبت مناسب در دسترس بذر قرار گیرد. هنگامی که پتانسیل آب خاک کاهش می‌یابد، جوانه‌زنی ممکن است با توجه به میزان کاهش رطوبت به تأخیر افتاده یا متوقف شود (هگارتی^۹، ۱۹۷۸). لذا شناخت دماهای کاردینال جوانه‌زنی برای پیش‌بینی زمان سبزشدن علف‌های هرز از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا، روش‌های ریاضی از جمله تعیین بهترین تابع رگرسیونی که بتوانند واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و رطوبت را کمی نماید و دماهای کاردینال را برآورد کند، اطلاعات بسیار مفیدی در مورد رفتارهای جوانه‌زنی، سبزشدن و قدرت رقابتی این گیاهان ارائه می‌نماید که می‌توان از آن‌ها برای پیشرفت برنامه‌های مدیریتی مهار علف‌هرز بهره برد (مسین^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۰؛ سابرعلی^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۰). به‌طور کلی این مدل‌ها، زمان و توالی ظهور علف‌های هرز را بر اساس شرایط محیطی مورد نیاز جوانه‌زنی و سبزشدن پیش‌بینی کرده و نتایج آن به کشاورزان در انتخاب بهترین زمان و روش‌های مدیریتی جهت کنترل علف‌های هرز کمک می‌کنند (درخشان^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۴). از مدل‌های بتا، درجه دوم، منحنی، دندان‌مانند و دو تکه‌ای جهت کمی‌سازی سرعت جوانه‌زنی و دما استفاده می‌شود (دوک^{۱۳} و همکاران، ۱۹۸۵). به‌طور کلی اثر درجه حرارت بر جوانه‌زنی بر حسب درجه حرارت‌های ویژه (دمای پایه، مطلوب و سقف) بیان شده و جوانه‌زنی بذرهای مختلف در این محدوده حرارتی رخ می‌دهد. درجه حرارت پایه، کم-ترین درجه حرارتی است که جوانه‌زنی در آن اتفاق می-افتد (کاردوسو^{۱۴}، ۲۰۱۱). درجه حرارت مطلوب بر حسب

⁹ Hegarty¹⁰ Masin¹¹ Saberali¹² Derakhshan¹³ Duke¹⁴ Cardoso¹ Montagnani² Rostami³ Cheraghian⁴ Toukasi⁵ Pink⁶ Vidotto⁷ Sucur⁸ Buttenschon

آمبروزیا در پاسخ به دما و رطوبت موجود نمی باشد، از این رو این تحقیق با هدف تعیین دماهای ویژه مرحله جوانه زنی آمبروزیا و همچنین کمی سازی پاسخ جوانه زنی آن به برهمکنش دما و رطوبت طراحی و اجرا شد.

مواد و روش ها

این آزمایش در سال ۱۴۰۰ در آزمایشگاه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان انجام شد. بذرها آمبروزیا از حاشیه جاده ای در مناطق پراکنش آن در شهرستان انزلی، استان گیلان جمع آوری شده و برای بررسی زنده ماندن بذرها از آزمون تترازولیوم استفاده شد. و با توجه به نتایج آن خواب فیزیولوژیک بذرها با استفاده از تیمار سرمادهی (قرارگیری بذرها به مدت دو هفته در دمای چهار درجه سلسیوس) شکسته شد. تیمارهای آزمایشی شامل سطوح مختلف پتانسیل رطوبتی ایجاد شده با پلی اتیلن گلیکول ۶۰۰۰ با پتانسیل های صفر، ۰/۳، ۰/۶، ۰/۹، ۱/۲- و ۱/۵- مگاپاسکال (میشل و کافمن^۶، ۱۹۷۳) در دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس بودند. پس از تهیه محلول های پتانسیل اسمزی، آزمون جوانه زنی در سه تکرار ۲۵ تایی بذرها علف هرز آمبروزیا در ظروف پتری با قطر ۹ سانتی-متری انجام گرفت. بذرها روی بستر کاغذ صافی واتمن شماره یک قرار گرفتند (ایستا^۷، ۲۰۱۵). به هر پتری مقدار مساوی از هر محلول (۶ میلی لیتر) در تیمارهای مربوط اضافه شد. برای جلوگیری از تبخیر رطوبت، اطراف پتری ها با پارافیلیم پوشانده شد. شمارش بذرها جوانه زده هر ۲۴ ساعت تا ثابت شدن میزان جوانه زنی بذرها با معیار جوانه زنی ظهور ریشه چه به طول کمینه یک میلی متر ادامه پیدا کرد (والیکوا^۸ و همکاران، ۲۰۱۷).

برای محاسبه درصد و سرعت جوانه زنی از نرم افزار GS-2011 استفاده شد (کامکار، ۲۰۱۱). این نرم افزار مقادیر جوانه زنی در برابر دما را به صورت تابع لجستیک برازش داده و از طریق درون یابی محاسبات لازم را انجام می دهد.

تعریف، دمایی است که در آن بیشترین درصد جوانه زنی در کوتاه ترین دوره زمانی انجام می شود و درجه حرارت سقف بالاترین درجه حرارتی است که بذرها قادر به جوانه زنی می باشند (کامکار^۱ و همکاران، ۲۰۰۶).

از مدل های ریاضی در تعیین مقادیر دمای پایه، مطلوب و سقف تحت پتانسیل های مختلف رطوبتی در گیاهان مختلفی از قبیل نخود (شاه^۲ و همکاران، ۲۰۲۱)، رازیانه (حیدری^۳ و همکاران، ۲۰۱۴) و خشخاش (کامکار و همکاران، ۲۰۱۲). استفاده شده است. مامدی^۴ و همکاران (۲۰۱۷) با کمی کردن سرعت جوانه زنی دانه های کینوا (*Chenopodium quinoa willd*) در دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس و کاربرد دو مدل دندان-مانند و بتا، دماهای ویژه جوانه زنی را محاسبه کرده و برای مقایسه مدل ها در مطالعه خود از شاخص آکائیک (AICc) و RMSE استفاده کردند. نتایج یافته های ایشان نشان داد که با کاهش پتانسیل اسمزی، پنجره مجاز دماهای ویژه جوانه زنی محدودتر می شود، به طوری که در پتانسیل های صفر، ۴-، ۸- و ۱۲- بار، میزان دمای پایه به ترتیب ۱، ۱۰، ۲ و ۱۵ درجه سلسیوس و دمای سقف به ترتیب ۳۶، ۴۱، ۴۱ و ۵۴ درجه سلسیوس بود، ولی دمای بهینه جوانه زنی بذر در پتانسیل های مختلف اسمزی کم تر تحت تأثیر قرار گرفت (مامدی و همکاران، ۲۰۱۷). جهت ارزیابی دماهای پایه، بهینه و سقف جوانه زنی در علف هرز پنیرک، با استفاده از پارامترهای مدل سنجی $RMSE$ ، R^2 ، CV و SE ، بهترین مدل در پتانسیل های صفر، ۲/۰-، ۴/۰- و ۶/۰- مگاپاسکال، مدل دندان-مانند و در پتانسیل ۸/۰- مگاپاسکال، مدل دوتکه ای گزارش شد (انصاری^۵ و همکاران، ۲۰۱۸).

با توجه به قدرت رقابت علف هرز آمبروزیا و خطر تهاجم بالای این گیاه در مناطق زراعی و غیر زراعی ایران، کمی سازی رفتارهای جوانه زنی آن در دما و پتانسیل های آب مختلف می تواند به ما در پیش بینی زمان و توالی ظهور این علف هرز مزاحم کمک کرده و روش های مهار آن را بهبود دهد. اطلاعات دقیقی از کمی سازی رفتار جوانه زنی

⁵ Ansari

⁶ Michel and Kaufmann

⁷ ISTA

⁸ Valickova

¹ Kamkar

² Shah

³ Heidari

⁴ Mamedi

استفاده شد. ضریب تبیین (R^2) بالاتر در مدل، نشان می‌دهد که مدل درصد تغییرات سرعت جوانه‌زنی بیش‌تری را توجیه می‌کند. این ضرایب با استفاده از نرم‌افزار SAS برآورد شدند. معنی‌داری ضریب a نشان‌دهنده این است که عرض از مبدا خط رگرسیون از عرض از مبدا خط یک به یک ارببی دارد. همچنین معنی‌داری ضریب b به این معناست که شیب خط رگرسیون از شیب خط یک به یک فاصله دارد و خط رگرسیون نسبت به خط یک به یک دارای اربب است (احمدی^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). هرچه پراکندگی نقاط در اطراف خط یک به یک بیش‌تر باشد نشان‌دهنده کارایی بالاتر مدل است (داری^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). با توجه به این معیارها، به‌منظور توصیف سرعت جوانه‌زنی غلف‌هرز آمبروزیا نسبت به دما و پتانسیل رطوبتی، مدل برتر برای تعیین دمای ویژه جوانه‌زنی تعیین شد.

نتایج و بحث

بر اساس نتایج جدول تجزیه واریانس، اثر دما و پتانسیل رطوبتی و برهمکنش آن‌ها بر درصد و سرعت جوانه‌زنی و مدت زمان لازم برای رسیدن به ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

برای کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای ویژه از رابطه ۱ استفاده می‌شود:

$$\frac{1}{e} = \frac{f(T)}{f_0} \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه $f(T)$ تابع دما می‌باشد که از صفر در دمای پایه و سقف تا یک در دمای مطلوب تغییر می‌کند، $1/e$ بیشینه سرعت ذاتی جوانه‌زنی را در دمای مطلوب نشان می‌دهد. f_0 تعداد ساعات زیستی مورد نیاز برای جوانه‌زنی می‌باشد. جهت کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دمای ویژه در سطوح مختلف پتانسیل اسمزی از مدل دوتکه‌ای (معادله ۲)، بتا اصلی (معادله ۳) و دندان‌مانند (معادله ۴) استفاده شد (جدول ۱).

برآورد پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری به‌کمک نرم‌افزار SAS انجام گرفت. در روش مطلوب‌سازی تکراری با هر بار واردکردن مقادیر اولیه پارامتر، مقادیر نهایی آن به روش کم‌ترین توان‌های دوم برآورد شد. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی صورت گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به‌دست آمد. برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مورد استفاده، از جذر میانگین مربعات (RMSE) برای زمان جوانه‌زنی، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b) در رابطه زمان (ساعت) تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی‌شده

جدول ۱- معادلات مدل‌های دوتکه‌ای، بتا و دندان‌مانند برازش 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 سقف، T دمای مورد آزمایش و a ضریب ثابت است.

Table 1. Segmented, beta, and dent-like models fitted to germination rate at different temperatures. T_b , T_{o1} , T_{o2} , T_o , T_c , T and a are base temperature, lower limit of optimum temperature, upper limit optimum temperature, optimum temperature, ceiling temperature, test temperature, and constant coefficient.

مدل Model	رابطه Equation
دندان‌مانند (۲) Dent-like (پیپر ^۳ ، ۱۹۹۶)	$f(T) = (T - T_b) / (T_{o1} - T_b) \text{ if } T_b < T \leq T_{o1}$ $f(T) = (T_c - T) / (T_c - T_{o2}) \text{ if } T_{o2} < T \leq T_c$ $f(T) = 1 \text{ if } T_{o1} < T \leq T_{o2}$ $f(T) = 0 \text{ if } T < T_b \text{ or } T \geq T_c$
دوتکه‌ای (۳) Segmented (سلطانی ^۴ و همکاران، ۲۰۰۶)	$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b) \text{ if } T_b < T \leq T_o$ $f(T) = [1 - (T - T_o) / (T_c - T_o)] \text{ if } T_o < T \leq T_c$ $f(T) = 0 \text{ if } T < T_b \text{ or } T \geq T_c$
بتا اصلی (۴) Original beta (سلطانی و همکاران، ۲۰۰۶)	$f(T) = [(T - T_b / T_o - T_b) * (T_c - T / T_c - T_b)^{(T_c - T_o / T_o - T_b)}]^a$

⁴ Soltani

¹ Ahmadi

² Darri

³ Piper

با کاهش پتانسیل رطوبتی درصد و سرعت جوانه زنی روند کاهشی نشان داد. همچنین با افزایش دما تا دمای مطلوب سرعت و درصد جوانه زنی افزایش و پس از آن کاهش یافت.

حساسیت این صفات به کاهش پتانسیل رطوبتی بیش تر از دما بوده و در تمامی دماها با کاهش پتانسیل رطوبتی، میزان درصد جوانه زنی کاهش و زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی، افزایش معنی دار نشان داد. بیشترین درصد و سرعت جوانه زنی برای تمامی پتانسیل های مورد بررسی، مربوط به دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس بود. با افزایش دما از ۱۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی کاهش و سپس با افزایش دما از ۲۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس افزایش یافت. حساسیت درصد جوانه زنی به دما کم تر از سرعت جوانه زنی بود، به طوری که در دامنه گسترده تری از دماها درصد جوانه زنی ثابت بود، اما با کاهش پتانسیل رطوبتی، دامنه ای از دماها که در آن بیشینه جوانه زنی اتفاق افتاد، کاهش یافت (شکل ۱). حساسیت بالاتر سرعت جوانه زنی ناشی از تنش رطوبتی در مقایسه با درصد جوانه زنی توسط خدابخشی^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در گیاه مرزه نیز گزارش شده است. تفاوت در جوانه زنی بذرها در دماهای مختلف می تواند ناشی از اثر دما بر فعالیت آنزیم های موثر در جوانه زنی باشد. به گونه ای که با افزایش دما تا دماهای مطلوب جوانه زنی یک گیاه، فعالیت آنزیم ها و کارایی واکنش های آنزیمی افزایش یافته و بر توانایی جوانه زنی بذرها اثر مثبت نشان می دهد.

دماهای کمینه و بیشینه نیز موجب غیر فعال شدن برخی از آنزیم ها و تغییر در بیان پروتئین های ضروری شده که این امر قابلیت جوانه زنی بذرها را کاهش می دهد (پیپر و همکاران، ۲۰۱۶). بعد از محاسبه سرعت جوانه زنی، به داده های مربوط به سرعت جوانه زنی برای پتانسیل های مختلف، مدل های رگرسیون غیرخطی؛ دندان مانند، دوتکه ای و بتا برازش داده شد (شکل ۲). در نهایت دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف جوانه زنی با استفاده از این مدل ها و برای پتانسیل های رطوبتی صفر تا ۱/۵- مگاپاسکال محاسبه شدند (جدول ۳). تحت شرایط پتانسیل صفر مگاپاسکال، دمای پایه جوانه زنی تعیین شده با استفاده از مدل دوتکه ای برای پتانسیل های مختلف جوانه زنی بین ۳/۷۴ تا ۱۳/۷۹ درجه سلسیوس متغیر بود که از لحاظ آماری تفاوت بین آن ها معنی دار بود (جدول ۳). دمای مطلوب و دمای سقف جوانه زنی برای پتانسیل های مختلف رطوبتی با استفاده از مدل دوتکه ای به ترتیب بین ۲۶/۲۹ تا ۲۶/۶۲ و ۴۰/۵۶ تا ۴۰ درجه سلسیوس برآورد شد. دمای پایه، دمای مطلوب فوقانی، دمای مطلوب تحتانی و سقف جوانه زنی با استفاده از مدل دندان مانند به ترتیب بین ۴/۳۱ تا ۱۵، ۲۲/۷۱ تا ۲۰/۲۱، ۲۸/۱۵ تا ۳۱/۳ و ۴۰/۴۶ تا ۴۰ درجه سلسیوس محاسبه شد. همچنین دمای پایه جوانه زنی برای مدل بتا نیز بین ۳/۸۸ تا ۱۵ درجه سلسیوس برآورد شد. دمای مطلوب با استفاده از مدل بتا بین ۲۵ تا ۲۴/۲۱ درجه سلسیوس و دمای سقف د جوانه زنی را این مدل در تمامی پتانسیل های رطوبتی ۴۰ درجه سلسیوس بودند. تعداد ساعات زیستی با استفاده از مدل

جدول ۲- تجزیه واریانس بیشینه درصد جوانه زنی (MGP)، سرعت رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی (R₅₀)، زمان رسیدن به ۱۰ درصد جوانه زنی (D₁₀)، زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه زنی (D₅₀) و زمان رسیدن به ۹۰ درصد جوانه زنی (D₉₀).

Table 2. ANOVA for maximum germination percentage (MGP), and germination rate based on 50% germination time (R₅₀), or 10 (D₁₀), 50 (D₅₀), and 90% (D₉₀) germination.

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	میانگین مربعات (M.S.)				
		MGP	R ₅₀	D ₁₀	D ₅₀	D ₉₀
دما Temperature (T)	7	3852.68**	0.00017697**	6349.44**	51814.01**	99422.12**
پتانسیل آب Water potential (WP)	5	3743.04**	0.00010224**	4281.38**	24063.69**	53472.68**
T × WP	35	297.71**	0.0000842**	895.07**	9375.69**	10605.89**
خطا Error	96	2.55	0.0000030	71.06	370.22	466.580
درصد ضریب تغییرات CV(%)		1.64	1.44	1.27	1.39	1.163

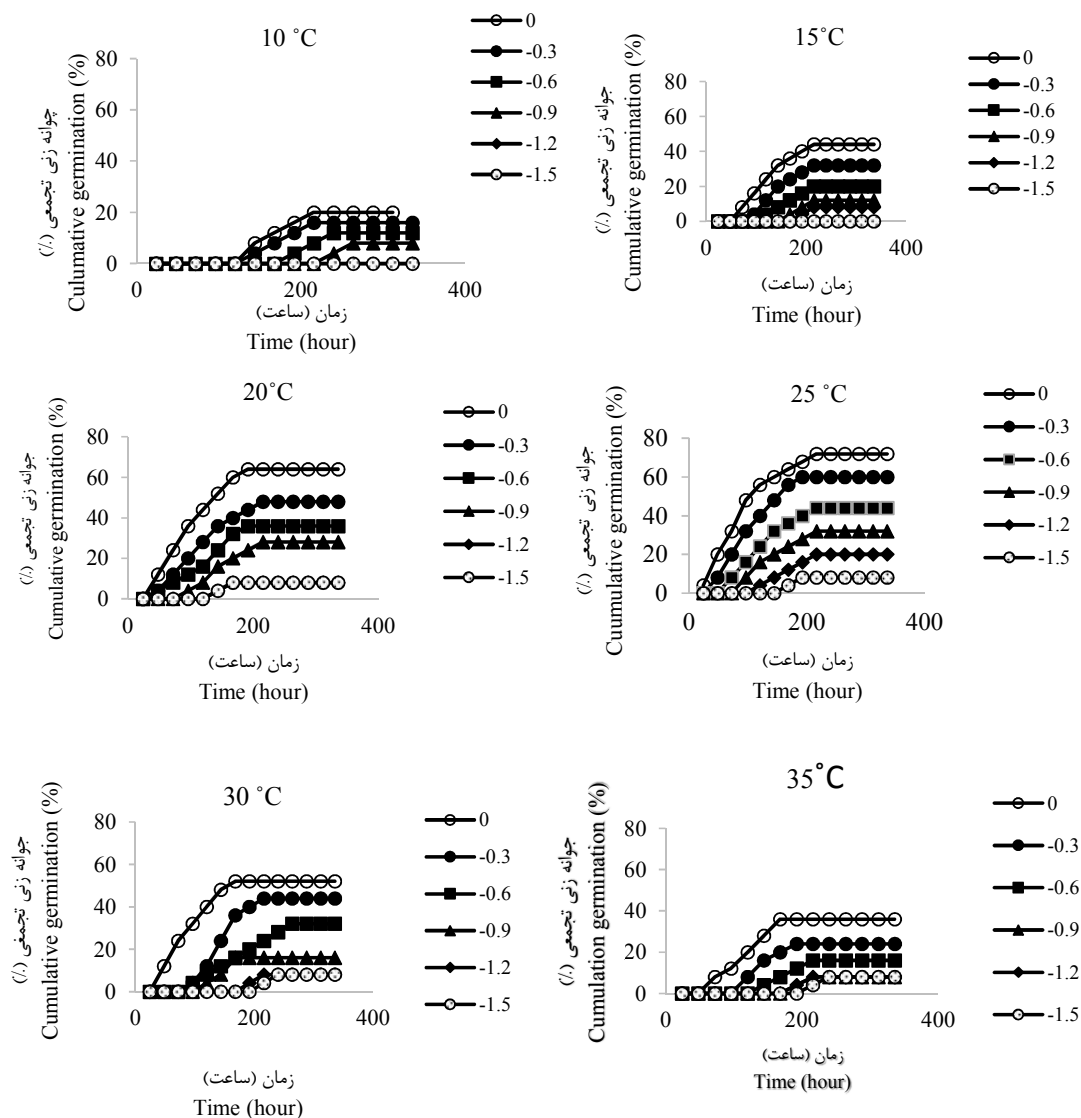
** significant difference at 1% level.

**, معنی دار در سطح احتمال یک درصد

پارامترها را با مدل پنج پارامتری بتا داشتند. پشت‌دار^۴ و همکاران (۲۰۲۰) واکنش سرعت جوانه‌زنی گیاه سورگوم را نسبت به دما را با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی کمی‌سازی نمودند. ایشان با استفاده از مدل دوتکه‌ای دماهای ویژه پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی برای این گیاه به ترتیب ۹/۵۲، ۲۸/۴۹ و ۴۲/۲۳ درجه سلسیوس گزارش کردند.

دوتکه‌ای، دندان‌مانند و بتا به ترتیب ۵۶/۱۷، ۶۴/۵۱ و ۶۴/۱۰ ساعت برآورد شدند (جدول ۳).

برآورد دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی در گیاهان مختلف، توسط محققین مختلف نیز گزارش شده است (زانک^۱ و همکاران، ۲۰۱۵؛ دهیم‌فرد^۲ و همکاران، ۲۰۱۸؛ مامدی و همکاران، ۲۰۱۸). به‌طور مثال پرمون^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در برازش دماهای ویژه جوانه‌زنی علف‌هرز ماریتیغال با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی دوتکه‌ای، دندان‌مانند و بتا بهترین برآورد



شکل ۱- روند تجمعی جوانه‌زنی بذر آمبروزیا در دما (سلسیوس) و پتانسیل رطوبتی (مگاپاسکال).

Fig. 1. The cumulative germination of Ambrosia at different temperatures (°C) and water potentials (MPa).

³ Parmoon

⁴ Poshtdar

¹ Zhang

² Deihimfard

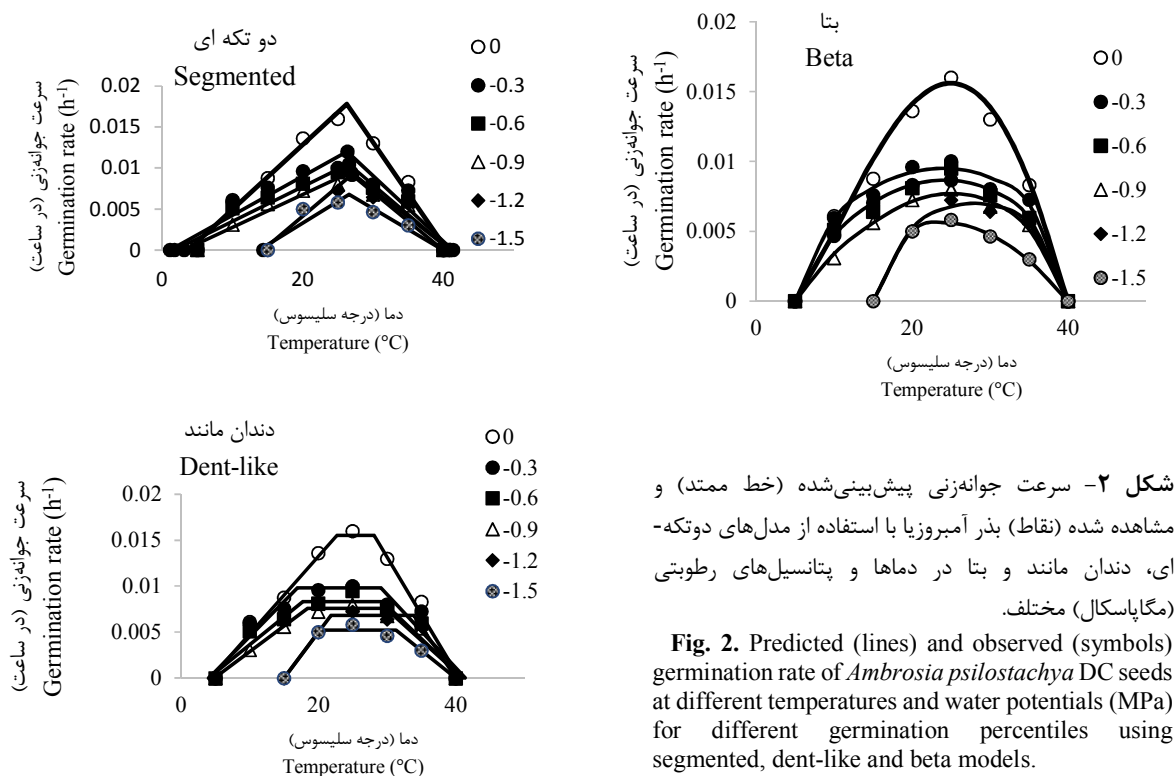
جدول ۳- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، دمای بیشینه (T_c)، ساعت زیستی (f_o)، ضریب ثابت (a) و ضرایب رگرسیون (a و b) سرعت جوانه‌زنی واقعی و پیش‌بینی‌شده با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای بذر آمبروزیا تحت شرایط تنش اسمزی. اعداد داخل پرانتز نشان‌دهنده خطای استاندارد است.

Table 3- Estimation of base temperature (T_b), optimum temperature (T_o), lower limit of optimum temperature (T_{o1}), upper limit of optimum temperature (T_{o2}), ceiling temperature (T_c), and biological hours (f_o), constant coefficient (a) and regression coefficients (a and b) of the actual and predicted germination rate using non-linear regression models for Ambrosia seeds under moisture stress condition. Values in parentheses represent standard error of the mean.

Model مدل	دوتکه‌ای Segmented						دندان مانند Dent-like		
پارامترها (Parameters)	0	-0.3	-0.6	-0.9	-1.2	-1.5	0	-0.3	-0.6
	مگاپاسکال (MPa)								
T_b	3.74 (1.34)	1.1 (4.27)	1.77 (3.08)	3.13 (2.62)	14.36 (2.22)	13.79 (2.3)	4.31 (1.28)	4.03 (2.48)	4.01 (2.35)
T_o	26.29 (0.98)	26.35 (2.55)	26.55 (1.88)	26.85 (1.61)	26.99 (2.05)	26.62 (2.13)	-	-	-
T_{o1}	-	-	-	-	-	-	22.71 (2.09)	16.98 (3.27)	17.76 (3.28)
T_{o2}	-	-	-	-	-	-	28.15 (1.53)	29.1 (2.85)	29.33 (2.36)
t_c	40.56 (0.98)	41.35 (2.71)	40.95 (1.92)	41.01 (1.7)	40 (2.77)	40 (2.66)	40.46 (0.98)	41.35 (2.46)	40.95 (1.98)
f_o	56.17 (4.86)	83.33 (7.57)	95.23 (7.06)	105.26 (7.36)	109.28 (15.8)	147.05 (17.66)	64.51 (6.61)	102.04 (6.8)	120.48 (8.45)
R^2	0.97	0.84	0.9	0.92	0.89	0.9	0.98	0.9	0.92
RMSE	0.001	0.0015	0.0011	0.0008	0.0011	0.0008	0.00088	0.00124	0.001
a	0.0002	0.0009	0.0004	0.00032	0.0004	0.0003	0.000157	0.0005	0.00039
b	0.97**	0.54**	0.9**	0.92**	0.89**	0.9**	0.98**	0.9**	0.92**
CV (%)	12.44	25.31	20.88	19.49	27.08	27.81	10.81	20.54	18.81
Model مدل	دندان مانند Dent-like			Beta بتا					
پارامترها (Parameters)	-0.9	-1.2	-1.5	0	-0.3	-0.6	-0.9	-1.2	-1.5
	مگاپاسکال (MPa)								
T_b	4.83 (1.7)	15 (0.59)	15 (0.84)	3.88 (3.46)	5 (0.0018)	5 (0.178)	5 (0.74)	15 (-)	15 (5.93)
T_o	-	-	-	25 (1.13)	24.02 (1.13)	24.25 (0.619)	24.16 (0.52)	27.96 (4.36)	24.21 (0.71)
T_{o1}	18.44 (2.75)	21.82 (0.93)	20.21 (1.06)	-	-	-	-	-	-
T_{o2}	29.73 (1.78)	33.99 (0.735)	31.3 (2.82)	-	-	-	-	-	-
t_c	41.01 (1.56)	40 (0.52)	40 (1.4)	40 (5.43)	40 (0.00004)	40 (0.000005)	40 (0.06)	40 (-)	40 (0.33)
a				1.54 (0.142)	0.6 (0.13)	0.755 (0.128)	1.01 (0.138)	0.62 (0.138)	0.55 (0.146)
f_o	131.23 (18.74)	146.62 (6.81)	191.57 (15.01)	64.1 (2.81)	105.26 (5.21)	115.47 (5.48)	129.87 (3.)	143.06 (15)	178.57 (35.42)
R^2	0.95	0.99	0.97	0.98	0.98	0.99	0.99	0.98	0.99
RMSE	0.0007	0.00029	0.0004	0.00086	0.0004	0.00026	0.00023	0.00036	0.00012
a	0.0002	0.00002	0.00006	0.0001	0.00007	0.000021	0.00003	0.000042	0.000007
b	0.95**	0.99**	0.97**	0.97**	0.98**	0.99**	0.99**	0.98**	0.99**
CV (%)	15.7	7.3	13.54	10.53	8.14	5.67	5.22	8.89	4.35

** نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد است.

** show significant difference in 1% probability.



شکل ۲- سرعت جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده (خط ممتد) و مشاهده شده (نقاط) بذر آمبروزیا با استفاده از مدل‌های دو تکه‌ای، دندان مانند و بتا در دماها و پتانسیل‌های رطوبتی (مگاپاسکال) مختلف.

Fig. 2. Predicted (lines) and observed (symbols) germination rate of *Ambrosia psilostachya* DC seeds at different temperatures and water potentials (MPa) for different germination percentiles using segmented, dent-like and beta models.

۱۰/۸۱، ۱۲/۴۴ و ۱۰/۵۳ به دست آمد (جدول ۳). بر اساس منابع مختلف RMSE و CV پایین و R^2 بالا نشان‌دهنده دقت بالاتر در مدل می‌باشد (کامکار و همکاران، ۲۰۱۲؛ داری و همکاران، ۲۰۱۴؛ انصاری و همکاران، ۲۰۱۸) که در پژوهش حاضر با توجه به مقادیر RMSE، CV، R^2 و ضرایب رگرسیون a و b مناسب‌ترین مدل برای تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی در بذرهای آمبروزیا در تمامی پتانسیل‌های رطوبتی مربوط به مدل بتا بود (جدول ۳). نژاد حسن^۲ و همکاران (۲۰۱۷) نیز با برآورد این سه مدل به نتایج مشابهی دست یافته بودند. ایشان با بررسی مقادیر RMSE، CV، R^2 و ضرایب رگرسیون a و b مناسب‌ترین مدل برای تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی بذرهای منداب مدل بتای اصلی معرفی کردند.

در پژوهش حاضر، بررسی مدل‌های دندان مانند، بتا و دوتکه‌ای نشان داد که با افزایش سطوح تنش رطوبتی، دمای پایه افزایش معنی‌دار داشت و خطای استاندارد (SE) تعیین‌شده توسط مدل نیز این نتیجه را تایید کرد (جدول ۳). در تمامی مدل‌ها دمای پایه جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل

همچنین خلیلی^۱ و همکاران (۲۰۱۳) نیز از مدل‌های دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا جهت توصیف سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما و پتانسیل آب استفاده کردند. ایشان بیان داشتند که مدل بتای اصلی نسبت به مدل‌های دیگر واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و پتانسیل رطوبتی را بهتر توصیف می‌کند. که با یافته‌های این آزمایش مطابقت داشت (شکل ۲).

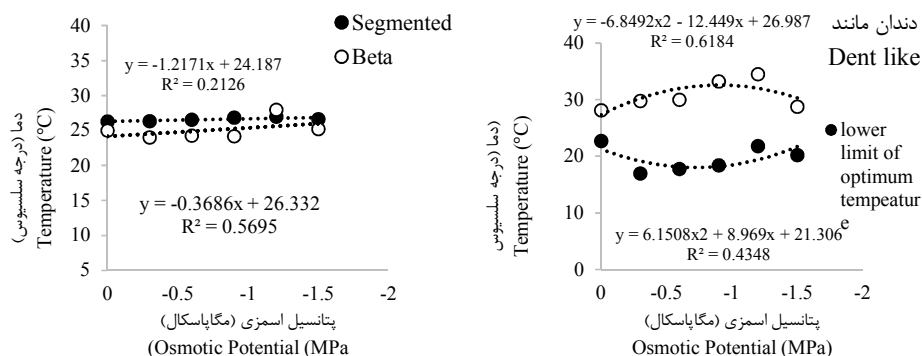
با توجه به نتایج جدول ۳ در پتانسیل‌های مختلف رطوبتی، مقدار انحراف عرض از مبدأ مختصات خط رگرسیون در سه مدل بررسی شده معنی‌دار نبود و میزان اریب خط رگرسیون از خط یک به یک معنی‌دار بود. این ضریب برای کلیه سطوح پتانسیل رطوبتی برای مدل بتا، دندان مانند و دوتکه‌ای در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. مقادیر R^2 در مدل‌های دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۸ و ۰/۹۸ به دست آمد (جدول ۴). مقادیر RMSE برای پتانسیل صفر در مدل دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا به ترتیب ۰/۰۰۸، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۸۶ گردید. مقادیر CV در مدل‌های دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا به ترتیب

² NezhadHasan

¹ Khalili

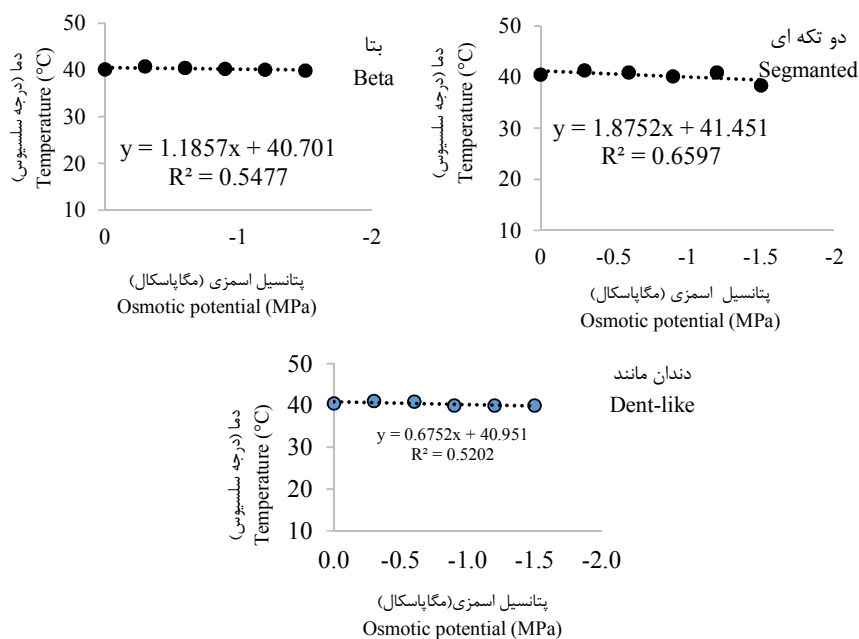
مطلوب فوقانی و سقف تحت تأثیر پتانسیل رطوبتی قرار نگرفت (شکل ۳ و ۴).

رطوبتی روند افزایشی نشان داد. این امر نشان‌دهنده تأثیرگذاری پتانسیل رطوبتی بر دمای پایه بود. بررسی روند تغییرات پارامترهای برآورد شده توسط این مدل‌ها در پتانسیل‌های رطوبتی مختلف برای سرعت جوانه‌زنی نشان داد که به دماهای مطلوب، مطلوب تحتانی،



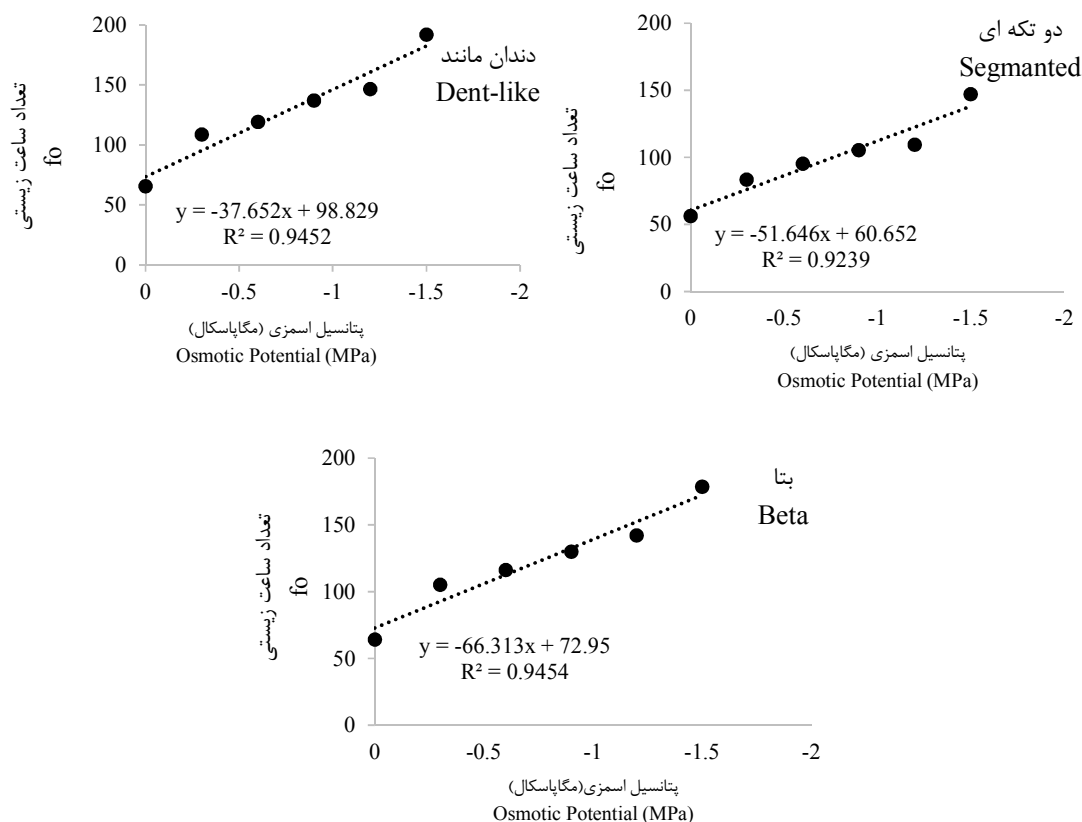
شکل ۳- اثر پتانسیل رطوبتی بر دمای مطلوب، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی به‌دست آمده توسط مدل‌های دندان مانند، دو تکه‌ای و بتا برای بذر آمبروزیا.

Fig 3. Effect of water potential on optimum temperature, lower limit of optimum temperature, and upper limit of optimum temperature achieved by dent-like, segmented, and beta models for Ambrosia seed.



شکل ۴- اثر پتانسیل رطوبتی بر دمای سقف به‌دست آمده توسط مدل‌های دندان مانند، دو تکه‌ای و بتا برای بذر آمبروزیا.

Fig 4. Effect of water potential on T_c achieved by dent-like, segmented and beta models for Ambrosia seed.



شکل ۵- اثر پتانسیل رطوبتی بر تعداد ساعت زیستی به دست آمده توسط مدل‌های دندان‌مانند، دو تکه‌ای و بتا برای بذر آمبروزیا.
Fig 5. Effect of water potential on f_0 achieved by dent-like, segmented, and beta models for Ambrosia seed

شده با توجه به پارامترهای CV ، R^2 ، $RMSE$ و ضرایب a و b مناسب‌ترین مدل جهت کمی‌سازی جوانه‌زنی علف‌هرز آمبروزیا تحت تأثیر دما و پتانسیل رطوبتی مدل بتا بود. دمای پایه، دمای مطلوب و سقف جوانه‌زنی با استفاده از مدل دندان‌مانند به ترتیب ۳/۸۸، ۲۵ و ۴۰ درجه سلسیوس برآورد شد. دمای پایه برآورد شده توسط مدل برتر، در پتانسیل‌های ۱/۲- و ۱/۵- مگاپاسکال تحت تأثیر سطوح مختلف رطوبتی قرار گرفتند. همچنین دمای مطلوب و سقف با منفی‌تر شدن پتانسیل رطوبتی تغییرات چندانی نشان ندادند، اما تعداد ساعت زیستی از ۶۴/۱ تا ۱۷۸/۵۷ ساعت افزایش یافت که این عامل یعنی بذرها با افزایش میزان تنش اسمزی در مدت زمان طولانی‌تری جوانه خواهند زد. از این رو می‌توان از مدل بتا برای ارزیابی مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر آمبروزیا در شرایط مناسب استفاده کرد. ارزیابی تعداد بیش‌تری از مدل‌های پیش‌بینی جوانه‌زنی تحت تیمارهای دمایی، سطوح رطوبتی و نیز سایر

با افزایش شدت تنش، تعداد ساعات زیستی (f_0) افزایش یافت (شکل ۵). نوزنژاد^۱ و همکاران (۲۰۱۳) در بررسی خود بر گیاه گندم، گزارش کردند که در تمامی مدل‌های دندان‌مانند، دو تکه‌ای و بتا، با افزایش سطوح تنش رطوبتی (از صفر تا ۰/۸- مگاپاسکال) به جز دمای پایه برای جوانه‌زنی، سایر دماهای ویژه تحت تأثیر پتانسیل رطوبتی قرار نگرفتند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش دما از ۱۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس سرعت جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت و با افزایش دما بیش از حد مطلوب این روند کاهشی بود. از طرفی دیگر با منفی‌تر شدن پتانسیل رطوبتی از صفر تا ۱/۵- مگاپاسکال سرعت و درصد جوانه‌زنی کاهش یافت. بر اساس یافته‌های این آزمایش، در مقایسه سه مدل استفاده

¹ Nozar Nezhad

عوامل محیطی مؤثر بر فرآیند جوانه‌زنی می‌تواند محققین را در درک بهتر نیازهای اکولوژیک جوانه‌زنی آمبروزیا کمک نماید. لذا بهره‌گیری از نتایج این آزمایش در مطالعات آینده جهت کنترل این علف‌هرز پیشنهاد می‌شود.

منابع

- Ahmadi, M., Kamkar, B., Soltani, A. and 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]
- Ansari, O., Gharekhloo, J., Ghadri-Far, F. and Kamkar, B. 2018. The effect of osmotic stress on the germination cardinal temperatures of cheese seeds (*Malva sylvestris*). *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 10(2): 341-352. [In Persian with English Summary]
- Buttenschon, R.M., Waldisp, U. and Bohern, C. 2009. Guidelines for management of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). Available at: <http://www.Euphresco.org>.
- Cardoso, V.J.M. 2011. Metodologia para analysis da dependence thermal da germination pelo model de graus.dia. *Oecologia Australis*, 15(2): 236-248. <https://doi.org/10.4257/oeco.2011.1502.04>
- Cheraghian, A. 2016. Perennial ragweed (*Ambrosia psilostachya* D.C). Bureau of plant pest surveillance and pest risk analysis, 13Pp.
- Derakhshan, A., Gharekhloo, J. and Parvar, A. 2014. Estimation of cardinal temperatures and thermal time requirement for *Cyperus difformis* seed germination. *Weed Science Journal*, 9: 27-38. [In Persian with English Summary]
- Darri, M.A., Kamkar, B., Aghdasi, M. and Kamikamar, E. 2014. Determining the best model for evaluating the cardinal temperatures of plant seed germination (*Silybum marianum*). *Journal of Iranian Seed Science and Technology*, 10(2): 189-200. [In Persian with English Summary]
- Dehimfard, R., Nazari, Sh. and Qorani, Y. 2018. Estimation of cardinal temperature of *Lepyrodictis holosteoides* using regression models. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 6(2): 107-117. [In Persian with English Summary]
- Duke, J., Handbook, A., Press, C. and Raton, B. 1985. Germination response of subterranean, berseem, and rose clovers to alternating temperatures. *Agronomy Journal*, 83: 1000-1004. <https://doi.org/10.2134/agronj1991.00021962008300060015x>
- Hegarty, T.W. 1978. The physiology of seed hydration and dehydration, and the relation between water stress and the control of germination: A Review. *Plant, Cell and Environment*, 1: 101-119 <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1978.tb00752.x>
- Heidari, Z., Kamkar, B. and Masoud Sinaki, J. 2014. Influence of temperature on seed germination response of fennel. *Advances in Plants and Agriculture Research*, 1(5): 1-7. <https://doi.org/10.15406/apar.2014.01.00032>
- ISTA. 2015. International Rules for Seed Testing, Chapter 5, i-5-56 (60). <https://doi.org/10.15258/istarules.2015.05>
- Kamkar, B., Koochaki, A., Nassiri Mahallati, M. and Rezvani-Moghaddam, P. 2006. Cardinal temperatures for germination in three millet species (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum*, and *Setaria italic*). *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(2): 316-319. <https://doi.org/10.3923/ajps.2006.316.319>
- Kamkar, B. 2011. GS_2011. A Pocket Software to calculate germination and emergence indices. GUASNR.
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M. and Mahdavi-Damghani, A. 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. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.033>
- Khalili, N., Soltani, A., Zeinali, E and Ghaderi Far., F. 2013. Evaluation of nonlinear regression models to quantify barley germination rate response to temperature and water potential. *Agricultural Plant Production Journal*, 7(4): 23-40. [In Persian with English Summary]
- Khodabakhshi, A., kamkar, B. and Khalili, N. 2015. Using nonlinear regression models to quantify germination response of annual savory to temperature and water potential. *Agricultural Crop Management*, 17(1): 229-240. [In Persian with English Summary]
- Mamedi, M., Tavakol Afshar, R. and Oveisi, M. 2017. Cardinal temperatures for seed germination of three Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 48(Special Issue): 89-100. [In Persian with English Summary]
- Masin, R., Loddo, D., Benvenuti, S., Zuin, M., Macchia, M. and Zanin, G. 2010. Temperature and water potential as parameters for modeling weed emergence in central- Northern Italy, *Weed Science*, 58: 216-222. <https://doi.org/10.1614/WS-D-09-00066.1>
- Michel, B.E. and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. *Plant Physiology*, 51: 914-916. <https://doi.org/10.1104/pp.51.5.914>
- Montagnani, C., Gentili, R., Smith, M., Guarino, M.F. and Citterio, S. 2017. The worldwide spread, success, and impact of Ragweed (*Ambrosia spp.*). *Critical Reviews in Plant Sciences*, 36(3): 1-40. <https://doi.org/10.1080/07352689.2017.1360112>
- Nezhad-Hasan, B., Siahmarguee, A., Zeinali, E. and Ghadri-far, F. 2017. Non-linear regression evaluation of Arugula (*Eruca sativa* Mill.) germination rate to temperature and water stress. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 4(2): 1-16. [In Persian with English Summary]
- Nozari-nejad, M., Zeinali, E., Soltani, A., Soltani, E. and Kamkar, B. 2013. Quantify wheat germination rate response to temperature and water potential. *Crop Production Journal*, 6(4): 117-135. [In Persian with English Summary]
- Parmoon, G.H., Mousavi, S.A., Akbari, H. and Ebadi, A. 2015. Quantifying cardinal temperatures and thermal time required for germination of *Silybum marianum* seed. *The Crop Journal*, 3: 145-151. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2014.11.003>
- Pinke, G., Karacsony, P., Czucz, B. and Botta-Dukat, Z. 2011. Environmental and land-use variables determining the abundance of (*Ambrosia artemisiifolia*) in arable fields in Hungary. *Preslia*, 83: 219-235.
- 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. <https://doi.org/10.2135/cropsci1996.0011183X003600060033x>
- Poshtdar, A., Tabatabaei, A. and Ansari, O. 2020. Quantification of sorghum seed germination in response to temperature. *Journal of Seed Research*, 10(1): 43-52. [In Persian with English Summary]
- Rostami, A. 2014. Investigating the global distribution potential of the invasive Ambrosia species and its biological control agent (*Ophraella communa*) in current climate conditions and climate change. Master's thesis of Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian with English Summary]
- Saberali, S. F. and Shirmohamadi-Aliakbarkhani, Z. 2020. Quantifying seed germination response of melon (*Cucumis melo* L.) to temperature and water potential: Thermal time, hydrottime and hydrothermal time models. *South African Journal of Botany*, 130: 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.12.024>
- Shah, S., Ullah, S., Ali, S., Khan, A., Ali, M., and Hassan, S. 2021. Using mathematical models to evaluate germination rate and seedlings length of chickpea seed (*Cicer arietinum* L.) to osmotic

- stress at cardinal temperatures. PLoS One, 16(12): e0260990
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0260990>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004>
- Sucur, J., Konstantinovic, B., Crnkovic, M., Vojislava, A., Bursic, V., Samardiz, N., Malencic, D., Prvulovic, D., Popov, M. and Vukovic, G. 2022. Chemical composition of *Ambrosia trifida* L. and its allelopathic influence on crops. Plant, 10(10): 2222. <https://doi.org/10.3390/plants10102222>
- Toukasi, S., Kazerouni-Monfared, A., Yaghoubi, B., Oveysi, M., Sasan-Far, R., Rahimiyan-Mashhadi, H. and Hainz, M. 2017. First report of *Ambrosia psilostachya* from Iran: An invasive plant species establishing in coastal area of Guilan province (N Iran). Rostaniha, 18(2): 226-222. [In Persian with English Summary]
- Valickova, V., Hamouzova, K. and Kolrova, M. 2017. Germination responses to water potential in *Bromus sterilis* L. under different temperatures and light regimes. Plant Soil and Environment, 63(8): 368- 374. <https://doi.org/10.17221/406/2017-PSE>
- Vidotto, F., Tesio, F. and Ferrero, A. 2013. Allelopathic effects of *Ambrosia artemisiifolia* L. in the invasive process. Crop Protect, 54: 161-167. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2013.08.009>
- Zhang, H., Tian, Y. and Zhou, D. 2015. A modified thermal time model quantifying germination response to temperature for C3 and C4 species in temperate grassland. Agriculture, 5: 412-426. <https://doi.org/10.3390/agriculture5030412>