

Research Article

Quantifying seed germination response of *Kochia (Kochia scoparia)* to varying temperatures and osmotic stress due to salinity

Ramin Piri ¹, Farzad Sharifzadeh ^{2,*}, Nasser Majnoun Hosseini ²

Extended abstract

Introduction: Currently, temperature and salinity stresses are spreading globally, which have a detrimental impact on the performance of various plants, particularly during seed germination and seedling growth stages. Therefore, the objective of this laboratory study was to examine the influence of temperature treatments and salinity levels on germination characteristics and initial seedling growth of kochia.

Materials and Methods: In the first experiment, temperature at nine levels (1, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, and 40°C), and in the second experiment, salinity (osmotic potential at six levels (no stress, -0.4, -0.8, -1.2, -1.6, and -1.8 MPa) were considered as experimental treatments. In order to determine the cardinal temperatures (base, optimal, and ceiling) of germination in kochia seeds, non-linear regression models including the segmented, dent-like, and modified beta models were used.

Results: In the first experiment, the response of kochia germination rate was predicted by a segmented function with R², RMSE, and AIC (Akaike) values of 0.92, 1.32, and 65.69, respectively, which indicates the high accuracy and precision of this model in predicting the cardinal temperatures of kochia seed germination compared with the other two models. In this model, the estimated base temperature for germination was 0.7°C, the optimal temperature was 20°C, and the ceiling temperature was 44.3°C. In the second experiment, salinity stress negatively affected the characteristics of seed germination in kochia, including germination percentage, germination rate, percentage of normal seedlings, seedling length, and seedling vigor index. The highest germination percentage of kochia seeds was observed under salt-free conditions with 88.66%, which decreased to 13% under -1.8 MPa salinity conditions.

Conclusions: In general, the results showed that the segmented model is more efficient and accurate than the other two models in predicting germination of kochia seeds under different temperature treatments. Also, increasing levels of salinity stress significantly reduced germination potential and seedling growth of kochia seeds, so that at a stress level of -1.8 MPa, germination rate decreased by 75% compared with stress-free condition.

Keywords: Germination rate, Germination cardinal temperatures, Osmotic potential, Segmented model, Vigor index

Highlights:

1. The cardinal temperatures (base, optimum, and ceiling temperatures) of kochia seed germination were determined.
2. This research introduced 1°C temperature and -1.8 MPa of salinity level as low temperature stress and critical salinity, respectively.

¹ Ph.D. student of Seed Science and Technology, Department of Agronomy & Plant Breeding, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

² Professor (Full), Department of Agronomy & Plant Breeding, Faculty of Agriculture, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

*Corresponding author, E-mail: sharifz@ut.ac.ir

Received: 16.8.2024; Revised: 5.9.2024;
Accepted: 6.9.2024; Online Published: 21.9.2024

DOI: [10.61186/yujrs.11.1.167](https://doi.org/10.61186/yujrs.11.1.167)



CrossMark

ISSN: 2383-1480 (On-Line); 2383-1251 (Print)



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

مقاله پژوهشی

کمی‌سازی پاسخ جوانه‌زنی بذر کوخیا (*Kochia scoparia*) به دماهای مختلف و تنش اسمزی

ناشی از شوری

رامین پیری^۱، فرزاد شریف زاده^۲، ناصر مجنون حسینی^۲

چکیده مبسوط

مقدمه: در حال حاضر، تنش‌های دمایی و شوری به‌طور گسترده در سراسر جهان در حال گسترش است که تأثیر منفی بر عملکرد گیاهان مختلف بخصوص مرحله جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه دارد. در همین راستا، هدف از این مطالعه آزمایشگاهی بررسی اثر تیمارهای دمایی و سطوح شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر و رشد اولیه گیاهچه کوخیا (کوشیا) بود.

مواد و روش‌ها: در آزمایش اول، دما در نه سطح (۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس) و در آزمایش دوم تنش اسمزی ناشی از شوری در شش سطح (بدون تنش، ۰/۴، -۰/۸، -۱/۲، -۱/۶، -۱/۸ مگاپاسکال) به‌عنوان تیمارهای آزمایشی در نظر گرفته شدند. به‌منظور تعیین دماهای اصلی (پایه، بهینه و بیشینه)، جوانه‌زنی بذر کوخیا از مدل‌های رگرسیون غیرخطی شامل مدل دو تکه‌ای، مدل دندان‌مانند و مدل بتای تغییر یافته استفاده شد.

یافته‌ها: در آزمایش اول، پاسخ سرعت جوانه‌زنی کوخیا توسط یک تابع دو تکه‌ای با میزان R^2 ، RMSE و شاخص آیکائیک (AIC) به‌ترتیب ۰/۹۲، ۱/۳۲ و ۶۵/۶۹ پیش‌بینی شد که نشان‌دهنده دقت و صحت بالای این مدل در پیش‌بینی دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر کوخیا نسبت به دو مدل دیگر است. در این مدل، دمای پایه برای جوانه‌زنی ۰/۷ درجه سلسیوس، ۲۰ درجه سلسیوس برای دمای بهینه و همچنین ۴۴/۳ درجه سلسیوس برای دمای بیشینه تخمین زده شد. در آزمایش دوم، تنش شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه طبیعی، طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه کوخیا تأثیر منفی می‌گذارد. بالاترین درصد جوانه‌زنی بذرهای کوخیا در شرایط بدون تنش شوری با مقدار ۸۸/۶۶ درصد مشاهده شد که در شرایط تنش اسمزی ناشی از شوری ۱/۸- مگاپاسکال به ۱۳ درصد رسید.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج نشان داد که مدل دو تکه‌ای کارایی و دقت بالاتری نسبت به دو مدل دیگر در پیش‌بینی جوانه‌زنی بذرهای کوخیا در دماهای مختلف دارد. همچنین افزایش سطوح تنش اسمزی ناشی از شوری، پتانسیل جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌ای بذر کوخیا را به‌طور چشمگیری کاهش داد، به‌طوری‌که در سطح تنش ۱/۸- مگاپاسکال نسبت به شرایط بدون تنش، ۷۵ درصد جوانه‌زنی کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل اسمزی، دماهای ویژه جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، شاخص بنیه، مدل دو تکه‌ای

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- دماهای ویژه (دمای پایه، بهینه و بیشینه) جوانه‌زنی بذر کوخیا تعیین شد.
- ۲- در این پژوهش، ۱ درجه سلسیوس و تنش اسمزی ناشی از شوری ۱/۸- مگاپاسکال را به‌ترتیب به‌عنوان تنش دمای پائین و شوری بحرانی معرفی شدند.

DOI: 10.61186/yuj.11.1.167



CrossMark

^۱ دانشجوی دکتری علوم و تکنولوژی بذر، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

^۲ استاد گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

*رایانامه نویسنده مسئول: sharifz@ut.ac.ir

مقدمه

بهترین تاریخ کاشت محصولات از اهمیت بالایی برخوردار است (عدالت و کاظمینی^۹، ۲۰۱۴). دمای بهینه جوانه‌زنی به‌عنوان دمایی تعریف می‌شود که در آن بیشترین سرعت جوانه‌زنی بذر با کمترین تعداد روز حاصل شود. در دمای بهینه، سرعت جوانه‌زنی بذر و رشد گیاه با افزایش دما افزایش می‌یابد و با عبور دما از سطح بهینه به تدریج کاهش می‌یابد (شزربا^{۱۰} و همکاران، ۲۰۲۱). دمای خارج از این محدوده بهینه باعث کاهش سرعت جوانه‌زنی و عدم جوانه‌زنی در دماهای شدید، مانند خارج از محدوده بین ۵ تا ۴۰ درجه سلسیوس می‌شود (لمیچپین^{۱۱} و همکاران، ۲۰۲۰). دمای بالا همزمان با سایر تنش‌های غیرزیستی، از جمله تنش شوری، می‌تواند آسیب جبران‌ناپذیری به دستگاه فتوسنتز گیاه و رشد زایشی گیاه وارد کند (بالفاگن^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۰). با این حال، مطالعات نشان داده‌اند که گیاهان در پاسخ به تنش‌های غیرزیستی ترکیبی، سازوکارهای سازگاری متفاوتی از جمله انباشته شدن محافظت‌کننده‌های اسمزی و سنتز آنزیم‌های مهارکننده گونه‌های فعال اکسیژن را توسعه می‌دهند، که این سازوکارها برای هر شرایط تنش متفاوت است (ساجد^{۱۳} و همکاران، ۲۰۲۱).

انواع مختلفی از مدل‌های ریاضی برای توصیف رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما استفاده می‌شود. این مدل‌ها با تعاریف زیستی فراسنجه‌ها می‌توانند به‌طور موفقیت‌آمیزی دماهای ویژه را پیش‌بینی کنند (سلطانی^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۶). از مدل‌های رگرسیونی مثل بتا (Beta)، دندان‌مانند (Dent-like) و دو تکه‌ای (Segmented) برای توصیف و پیش‌بینی پاسخ جوانه‌زنی بذر به دما استفاده می‌شود (ترابی^{۱۵} و همکاران، ۲۰۲۰؛ دیهیم‌فرد^{۱۶} و همکاران، ۲۰۱۷). در یک پژوهش، برای توصیف سرعت جوانه‌زنی بذر مریم گلی به دما، از سه مدل رگرسیونی به نام‌های خطوط

جوانه‌زنی بذر به‌عنوان یک مرحله کلیدی از چرخه زندگی گیاهان یک فرآیند زیستی پیچیده است که تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی و ژنتیکی قرار می‌گیرد (ژی و هو^۱، ۲۰۲۳). شرایط محیطی تعیین‌کننده موفقیت جوانه‌زنی و ظهور و استقرار بعدی گیاهچه است. زمانی که رطوبت کافی باشد، سرعت جوانه‌زنی بذرهای معمولاً توسط دما مهار می‌شود، که به‌عنوان یک عامل حیاتی بر شروع، سرعت و پتانسیل جوانه‌زنی بذر تأثیر می‌گذارد (بردفورد^۲، ۲۰۱۷). دما یک عامل محدودکننده برای متابولیسم گیاهان در سطح سلولی و رشد و نمو در سطح بافت یا اندام است. به این ترتیب شروع، تکمیل و میزان متابولیسم گیاه تحت تأثیر دما قرار می‌گیرد (کازولوفسکا^۳ و همکاران، ۲۰۲۲). حداکثر درصد جوانه‌زنی گیاهان در یک محدوده دمایی خاص اتفاق می‌افتد و جوانه‌زنی تحت تأثیر نوسان (پایین و بالا شدن) آن در این محدوده دمایی قرار می‌گیرد (دونوهیو^۴ و همکاران، ۲۰۱۰).

هر بذر گیاهی برای شروع جوانه‌زنی نیاز به محدوده دمایی خاصی دارد (والک^۵ و همکاران، ۲۰۱۱). دما فعالیت فیتوهورمون‌هایی مانند آبسیزیک اسید (ABA) و جیبرلین (GA) را تنظیم می‌کند که مسئول واکنش‌های بیوشیمیایی در شکستن خواب بذر و شروع جوانه‌زنی هستند (بان و چن^۶، ۲۰۲۰). دماهای ویژه [یعنی دمای پایه (T_b)، بهینه (T_o) و بیشینه (T_c)] محدوده دمایی را توصیف می‌کنند که بذرهای یک گونه خاص می‌توانند با موفقیت در آن جوانه بزنند. به‌طور کلی، فرآیند جوانه‌زنی بین دمای پایه و بهینه افزایش می‌یابد، بین دمای بهینه و بیشینه کاهش می‌یابد و در نهایت فراتر از بیشینه و کمتر از دمای پایه متوقف می‌شود (اولا^۷ و همکاران، ۲۰۲۲؛ دونارت^۸ و همکاران، ۲۰۱۸). دماهای ویژه (اصلی) جوانه‌زنی نیز برای تعیین

⁹ Edalat, and Kazemeini

¹⁰ Szczerba

¹¹ Lamichhane

¹² Balfagón

¹³ Sachdev

¹⁴ Soltani

¹⁵ Torabi

¹⁶ Deihimfard

¹ Zhi and Hu

² Bradford

³ Kozłowska

⁴ Donohue

⁵ Walck

⁶ Yan and Chen

⁷ Ullah

⁸ Duarte

شوری و دمایی انجام شود که آزمایش‌های حاضر بدین منظور صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

به‌منظور کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دماهای مختلف و تأثیر سطوح مختلف تنش اسمزی ناشی از شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر کوخیا، دو آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی کرج با ۳ تکرار ۵۰ بذری در سال ۱۴۰۱ انجام شد. در آزمایش اول، دما در ۹ سطح (۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس) بود و در آزمایش دوم، سطوح تنش اسمزی ناشی از شوری در ۶ سطح (بدون تنش، ۰/۴، ۰/۸، ۱/۲، ۱/۶ و ۱/۸ - مگاپاسکال) به‌عنوان تیمارهای آزمایشی در نظر گرفته شدند. همچنین در آزمایش دوم بذرها در محلول‌های اسمزی تعیین شده در پتری شیشه‌ای ۹ سانتی‌متری کشت شدند و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در ژرمیناتور قرار گرفتند. برای سطح بدون تنش نیز از آب مقطر استفاده شد. در آزمایش جوانه‌زنی استاندارد، بذرها به مدت ۱۰ روز به‌طور مرتب شمارش شدند. در این آزمایش، اعمال تنش شوری براساس فرمول وانت هوف^۶ (۱۸۸۷) (رابطه ۱) و با استفاده از کلرید سدیم بود.

$$\psi = -m_iRT \quad \text{رابطه ۱}$$

که ψ پتانسیل اسمزی بر حسب مگاپاسکال، m مولاریته، i ضریب یونیزاسیون، R ثابت گازها (۰/۰۰۸۳۱۴ لیتر مگاپاسکال بر مول درجه کلونین) و T دما بر حسب درجه کلونین می‌باشد. در پایان آزمایش‌ها، درصد جوانه‌زنی از رابطه ۲ و سرعت جوانه‌زنی از رابطه ۳ و شاخص بنیه گیاهچه از رابطه ۴ محاسبه شدند. همچنین برای اندازه‌گیری طول گیاهچه ۵ گیاهچه به‌طور تصادفی با استفاده از خط‌کش اندازه‌گیری شد.

$$\text{رابطه ۲: (آیکیک}^7 \text{ و همکاران، ۲۰۱۲)}$$

$$\text{درصد جوانه‌زنی} = \left(\frac{n}{N} \right) \times 100$$

n: تعداد بذرها، N: تعداد کل بذرها

مقاطع (ISL)، چند جمله‌ای درجه دوم (QPN) و بتای پنج فراسنجه‌ای (FPB) استفاده شد که مدل بتا به‌عنوان بهترین مدل گزارش شد (دشتی^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). در مطالعه‌ی دیگری، برای تعیین دماهای ویژه جوانه‌زنی آفتابگردان، از مدل‌های بتا، دو تکه‌ای و دندان مانند استفاده شد که بهترین مدل در برآورد دماهای ویژه جوانه‌زنی بذرهای آفتابگردان را مدل دو تکه‌ای معرفی کردند (ترابی و همکاران، ۲۰۱۵).

عامل مهم دیگری که بر جوانه‌زنی بذر و استقرار گیاهچه و به دنبال آن عملکرد گیاه و کیفیت محصول اثرات زیانباری دارد، تنش شوری است (مرادی و پیری^۲، ۲۰۱۸). خسارت تنش شوری در گیاهان از طریق بروز تنش یونی و اسمزی است که ضمن تأثیر منفی بر جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه، بسیاری از فرآیندهای دخیل در رشد و نمو گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (صفرآ و همکاران، ۲۰۱۹). شوری در بسیاری از مناطق کشاورزی دنیا از جمله ایران بخصوص در آب و هوای خشک و نیمه خشک از عوامل مهم محدودکننده استقرار گیاهچه و عملکرد گیاهان به شمار می‌رود (السباغ^۳ و همکاران، ۲۰۲۰).

کوخیا یا کوشیا (*Kochia scoparia*) گیاهی شورزی، چندساله و از خانواده اسفناجیان است که برای کشت سال اول در اراضی بسیار شور مناسب می‌باشد. کارایی مصرف آب در کوخیا حدود ۳ برابر گیاه یونجه می‌باشد که نشان‌دهنده بهره‌وری بالای این گیاه در استفاده از آب است. همچنین پتانسیل بسیار بالایی برای تولید علوفه دارد که می‌توان از آن برای جیره غذایی دام استفاده نمود (کافی^۴ و همکاران، ۲۰۱۰). از آنجایی که در مناطق شور، استفاده از گیاهان متحمل به شوری مثل کوخیا به منظور بهره‌برداری از منابع آب شور می‌تواند به‌عنوان راهکاری مناسب و بهینه لحاظ شود؛ لذا ضرورت دارد پژوهشی به منظور بررسی واکنش جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه بذر کوخیا به تنش‌های

¹ Dashti

² Moradi and Piri

³ Safdar

⁴ El-Sabagh

⁵ Kafi

⁶ Van 't Hoff

⁷ Ikić

$$y = \frac{\left(\frac{(T_c - T)}{(T_c - T_{o2})}\right)}{f_o} \rightarrow if \rightarrow T_{o2} < T < T_c$$

$$y = \frac{1}{f_o} \rightarrow if \rightarrow T_{o1} \leq T \leq T_{o2}$$

$$y = 0 \rightarrow if \rightarrow T \leq T_b \dots or \dots T \geq T_c$$

رابطه ۷:

$$f(T) = \left\{ \left[\left(\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)} \right) \left(\frac{(T_c - T)}{(T_c - T_o)} \right) \right]^{(T_c - T_o / T_o - T_b)^a} \right\}$$

if $T \leq T_b$ or $T \geq T_c$

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

رابطه ۸:

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SSG}$$

رابطه ۹:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(p - o)^2}{n - 1}}$$

رابطه ۱۰:

$$AIC = n \times \ln(SSR/n) + 2k$$

در این مدل‌ها، y سرعت جوانه‌زنی، T دمای آزمایش، T_b دمای پایه، T_o دمای مطلوب و T_c دمای سقف جوانه‌زنی، SSE و SSG به ترتیب مجموع مربعات خطا و مجموع مربعات کل هستند. P و O به ترتیب مقدار پیش‌بینی شده سرعت جوانه‌زنی با استفاده از مدل و مقدار مشاهده شده و n تعداد مشاهدات، SSR مجموع مربعات باقی‌مانده؛ n ، تعداد نمونه و K ، تعداد پارامترهای مدل مورد نظر می‌باشد.

برای برآزش روابط ۱، ۲ و ۳ به داده‌های حاصل از این پژوهش از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۳) استفاده شد.

نتایج و بحث

آزمایش اول: تعیین دماهای ویژه (دمای پایه، بهینه و بیشینه) جوانه‌زنی بذر کوخیا

نتایج تجزیه واریانس داده‌های نشان داد که اثر تیمار دمایی بر خصوصیات جوانه‌زنی شامل درصد

رابطه ۳: (ورما^۱ و همکاران، ۲۰۰۵)

$$\text{سرعت جوانه‌زنی} = \sum \frac{ni}{ti}$$

ni : تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز، ti : روز از زمان شروع آزمایش

رابطه ۴: (عبدالباکی و اندرسون^۲، ۱۹۷۵)

شاخص طولی بنیه گیاهچه =

۱۰۰ / (طول گیاهچه (سانتی‌متر) × درصد جوانه‌زنی)
در این پژوهش، بذرهای کوخیا از شرکت پاکان بذر (اصفهان) تهیه گردید. به منظور تعیین دماهای اصلی (پایه، بهینه و بیشینه)، جوانه‌زنی بذر کوخیا از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای تجزیه و تحلیل رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دماهای مختلف استفاده شد. دما به عنوان متغیر مستقل (محور X) و سرعت جوانه‌زنی به عنوان متغیر وابسته (محور Y) در نظر گرفته شد و از مدل دو تکه‌ای (رابطه ۵) (اکرم‌قادری^۳ و همکاران، ۲۰۰۸)، مدل دندان‌مانند (رابطه ۶) (بلوچی^۴ و همکاران، ۲۰۲۳) و مدل بتای تغییر یافته (رابطه ۷) (جعفری^۵ و همکاران، ۲۰۲۴) استفاده شد: برای دقت و برآزش مدل‌ها، از مقادیر R^2 (ضریب تبیین)، RMSE (خطای جذر میانگین مربعات) و ضریب آیکائیک (AIC) استفاده شد (روابط ۸، ۹ و ۱۰).

رابطه ۵:

$$y = \frac{\left(\frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}\right)}{f_o} \rightarrow if \quad T_b < T < T_o$$

$$y = \frac{\left(\frac{1 - (T - T_b)}{(T_o - T_b)}\right)}{f_o} \rightarrow if \quad T_o < T < T_c$$

$$y = 0 \rightarrow T \leq T_b \dots or \dots T \geq T_c$$

رابطه ۶:

$$y = \frac{\left(\frac{(T - T_b)}{(T_{o1} - T_b)}\right)}{f_o} \rightarrow if \rightarrow T_b < T < T_{o1}$$

¹ Verma

² Abdalbaki and Anderson

³ Akram-ghaderi

⁴ Balouchi

⁵ Jafari

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر تیمار دمایی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر کوخیا

Table 1. Analysis of variance (mean square) for the effect of temperature treatments on seed germination characteristics of *Kochia* seed

منبع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	گیاهچه طبیعی Normal seedling	طول گیاهچه Seedling length	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
تیمار دمایی Temperature treatment	8	2445**	62.57**	28.7**	3.704**	7.382**
خطا Error	2	10.42	0.577	8.203	0.060	0.032
ضریب تغییرات (%) C.V. (%)	-	7.008	11.04	6.587	7.363	9.921

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

**: significant at 1 % probability

همچنین در مدل بتای تغییر یافته، ۰/۸۸، ۰/۰۶ و ۲۲/۰۶ و ۴۲/۲۷ درجه سلسیوس به ترتیب دماهای پایه، بهینه و بیشینه مشخص شدند. با افزایش دمای محیط جوانه‌زنی از مقدار دمای کمینه (T_b) تا دمای بهینه (T_o)، جوانه‌زنی بذرهای گیاه *Stipagrostis ciliata* به صورت خطی افزایش می‌یابد و چنانچه دما از مقدار بهینه (T_o) فراتر رفته و به دمای بیشینه (T_c) نزدیک شود، از جوانه‌زنی کاسته خواهد شد و از طرفی، با فراتر رفتن دما از مقدار بیشینه (T_c)، جوانه‌زنی مهار می‌گردد (فاخفک^۲ و همکاران، ۲۰۱۸). دنا توره شدن پروتئین و اختلال در کار غشاها از جمله عواملی است که موجب کاهش سرعت جوانه‌زنی بذور در دماهای بالاتر از دمای مطلوب می‌شود. همچنین کاهش کارایی متابولیکی بذرها نیز از دیگر عوامل کاهش سرعت جوانه‌زنی در دماهای بیشتر از دمای مطلوب مشاهده شده است (خائیم^۳ و همکاران، ۲۰۲۲).

جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه طبیعی، طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه بذر کوخیا در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۱).

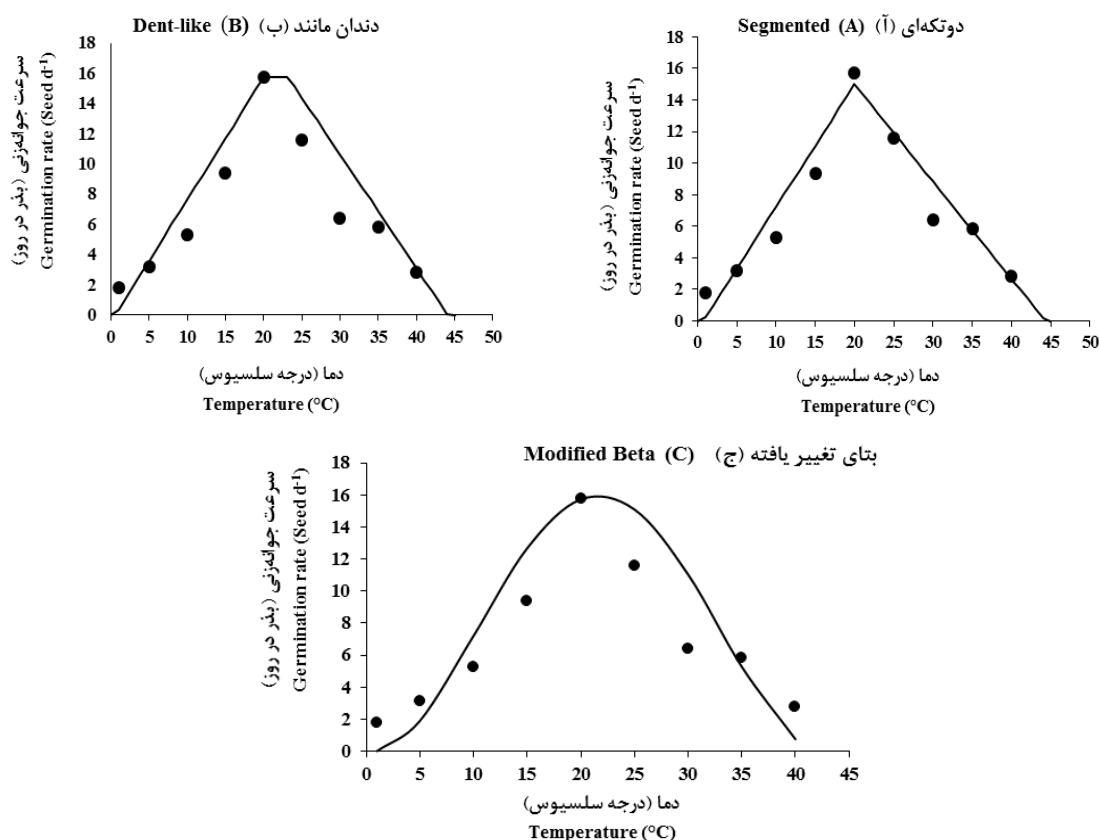
یافته‌های مطالعه حاضر نشان داد که درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، تعداد گیاهچه طبیعی، طول گیاهچه و شاخص طولی بنیه گیاهچه بذر کوخیا تحت تأثیر دما قرار گرفت. در این پژوهش، پاسخ سرعت جوانه‌زنی کوخیا توسط یک تابع دو تکه‌ای با میزان R^2 و شاخص آیکائیک به ترتیب ۰/۹۲، ۱/۳۲ و ۶۵/۶۹ پیش‌بینی شد که نشان دهنده دقت مناسب این مدل در پیش‌بینی دماهای ویژه جوانه‌زنی بذر کوخیا نسبت به دو مدل دیگر است. به عبارتی دیگر، مدلی که R^2 بالاتر، و شاخص آیکائیک پایین‌تری داشته باشد از دقت و صحت بیشتری برخوردار است. در مدل دو تکه‌ای، دمای پایه ۰/۷، دمای بهینه ۲۰ و دمای بیشینه ۴۴/۳ درجه سلسیوس تعیین شد. در مدل دندان مانند، دمای پایه برای جوانه‌زنی ۰/۶ درجه سلسیوس، ۲۰ درجه سلسیوس برای دمای مطلوب تحتانی و ۲۳/۲ درجه سلسیوس برای دمای مطلوب فوقانی و همچنین ۴۴/۱ درجه سلسیوس برای دمای بیشینه تخمین زده شد (جدول ۲). در پژوهشی، گنجعلی^۱ و همکاران (۲۰۱۲) از مدل‌های بتا، دو تکه‌ای و دندان مانند برای مدل‌سازی سبز شدن گیاه نخود در دماها و عمق‌های مختلف استفاده کردند که مدل دندان مانند را به عنوان مدل برتر در پیش‌بینی سبز شدن این گیاه معرفی نمودند.

² Fakhfakh³ Khaeim¹ Ganjeali

جدول ۲- فراسنجه‌های پیش‌بینی شده با استفاده از مدل‌های دو تکه‌ای، دندان‌مانند و بتا برای سرعت جوانه‌زنی بذر کوخیا

Table 2. Predicted parameters using Segmented, Dent-like and Modified Beta models for Kochia seed germination rate

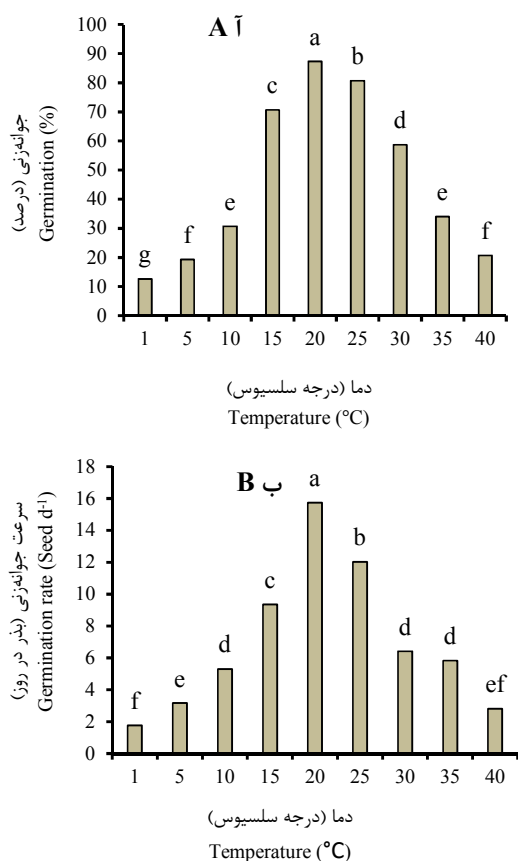
Parameter	فراسنجه	مدل مدل		
		دو تکه‌ای Segmented	دندان مانند Dent-like	بتای تغییر یافته Modified Beta
(T_b)	دمای پایه	0.7 ± 0.98	0.6 ± 1.72	0.88 ± 1.10
(T_o)	دمای بهینه	20 ± 0.99	-	22.06 ± 4.5
(T_{o1})	دمای بهینه تحتانی	-	20 ± 3.63	-
(T_{o2})	دمای بهینه فوقانی	-	23.2 ± 1.69	-
(T_c)	دمای بیشینه	44.3 ± 1.79	44.1 ± 1.61	42.27 ± 2.8
R^2		0.92	0.90	0.87
RMSE		1.32	2.10	2.46
(AIC)	شاخص آیکائیک	65.69	88.99	101.11



شکل ۱- پیش‌بینی سرعت جوانه‌زنی بذر کوخیا در دماهای مختلف با استفاده از مدل دو تکه‌ای (الف)؛ مدل دندان‌مانند (ب) و مدل بتای تغییر یافته (ج). در نمودارها، داده‌های مشاهده شده با علامت دایره توپر (●) و داده‌های پیش‌بینی شده با خط ممتد (—) مشخص شدند.

Figure 1. Prediction of germination rate of Kochia seeds at different temperatures using the Segmented model (a); Dent-like model (b) and Modified Beta model (c). In the graphs, the observed data are marked with a (●) and the predicted data are marked with a (—).

۵ و ۴۰ درجه سلسیوس از نظر آماری اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴).



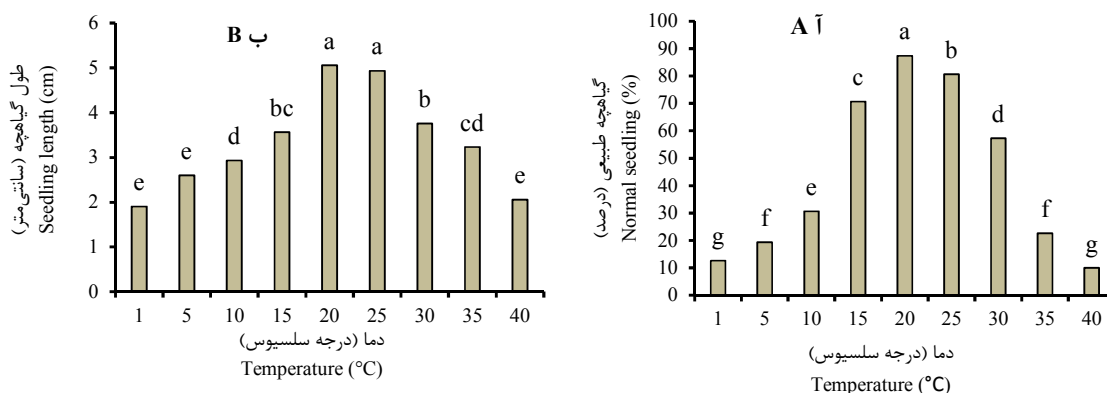
شکل ۲- مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی (آ) و سرعت جوانه‌زنی (ب) بذر کوخیا تحت تأثیر تیمارهای دمایی

Figure 2. Mean comparison of the germination percentage (a) and germination rate (b) of *Kochia* seed as affected by temperature treatments

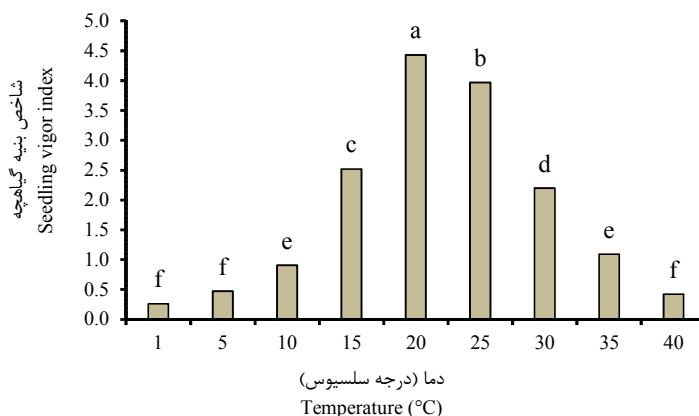
با توجه به شکل ۱ حداکثر سرعت جوانه‌زنی در طیف دمایی بین ۲۰ تا ۲۳ درجه سلسیوس رخ می‌دهد و حداکثر تحمل دمایی برای جوانه‌زنی گیاه کوخیا در دمای ۴۴ درجه سلسیوس می‌باشد. علت کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در دماهای بحرانی ممکن است ناشی از کند شدن واکنش‌های بیوشیمیایی مربوط به جوانه‌زنی، غیرفعال شدن آنزیم‌ها و در نهایت زوال و مرگ بذرها باشد (ابرلی^۱ و همکاران، ۲۰۱۴). یا اینکه پس از آن به دلیل انعقاد پروتئین‌ها و اختلال در کار غشاهای سلولی در دماهای بالا کاهش می‌یابد (خائیم و همکاران، ۲۰۲۲). بررسی واکنش جوانه‌زنی بذرهای کوخیا به تیمارهای دمایی نشان داد که روند صعودی جوانه‌زنی از دمای ۱ درجه سلسیوس (۱۳ درصد) تا دمای ۲۰ درجه سلسیوس (۸۷ درصد) مشاهده شد و به تدریج با فاصله گرفتن از دمای ۲۰ درجه سلسیوس به سمت دمای ۴۰ درجه سلسیوس (۲۱ درصد) روند کاهشی جوانه‌زنی وجود داشت (شکل ۲-آ). همچنین روند سرعت جوانه‌زنی نشان داد که دمای ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین سرعت جوانه‌زنی را داشت و در دماهایی ۱۰، ۳۰ و ۳۵ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری از نظر سرعت جوانه‌زنی وجود نداشت. همچنین کمترین سرعت جوانه‌زنی در دمای ۱ درجه سلسیوس مشاهده شد که با دمای ۴۰ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری نداشت (شکل ۲-ب).

برای درصد گیاهچه طبیعی نیز بیشترین مقدار در دمای ۲۰ درجه سلسیوس وجود داشت و دمای ۵ با دمای ۳۵ و دمای ۱ با دمای ۴۰ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری از نظر درصد طول گیاهچه نداشتند (شکل ۳-آ). در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سلسیوس نیز طول گیاهچه نسبت به دیگر دماها طول گیاهچه بلندتری داشتند که این دو دما از نظر طول گیاهچه تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. همچنین دمای ۱ درجه سلسیوس با طول گیاهچه ۱/۹ سانتی‌متری کمترین طول گیاهچه را داشت که با دماهای ۵ و ۴۰ درجه سلسیوس اختلاف معنی‌داری را نداشت (شکل ۳-ب). شاخص بنیه گیاهچه در دمای ۲۰ درجه سلسیوس بیشترین مقدار (۴/۴۳) را داشت و با دیگر دماها اختلاف معنی‌داری را نداشت. اما در دماهای ۱،

¹ Eberle



شکل ۳- مقایسه میانگین درصد گیاهچه طبیعی (ا) و طول گیاهچه (ب) بذر کوخیا تحت تأثیر تیمارهای دمایی
Figure 3. Mean comparison of normal seedling percentage (a) and seedling length (b) of Kochia seed as affected by temperature treatments



شکل ۴- مقایسه میانگین بنیه گیاهچه بذر کوخیا تحت تأثیر تیمارهای دمایی
Figure 4. Mean comparison of seedling vigor index of Kochia seed as affected by temperature treatments

جدول ۳- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) تأثیر سطوح تنش اسمزی ناشی از شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر کوخیا
Table 3. Analysis of variance (mean square) for the effect of osmotic stress levels due to salinity on seed germination characteristics of Kochia seed

S.O.V	منبع تغییرات df	درصد جوانه‌زنی Germination percentage	سرعت جوانه‌زنی Germination rate	گیاهچه طبیعی Normal seedling	طول گیاهچه Seedling length	شاخص بنیه گیاهچه Seedling vigor index
شوری (پتانسیل اسمزی) Salinity (Osmotic potential)	5	26.07**	72.55**	3092**	6.324**	9.272**
Error	خطا 2	3.288	0.167	2.588	0.047	0.024
C.V. (%)	ضریب تغییرات (%) -	3.150	4.870	2.931	6.449	6.843

** معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد

** : significant at 1 % probability

آزمایش دوم: واکنش جوانه‌زنی بذر کوخیا به تنش اسمزی ناشی از شوری

نتایج تجزیه واریانس داده‌های نشان داد که اثر تنش اسمزی ناشی از شوری بر خصوصیات جوانه‌زنی شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه طبیعی، طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه بذر کوخیا در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شد (جدول ۳).

یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که پتانسیل اسمزی ناشی از تنش شوری بر ویژگی‌های جوانه‌زنی بذر شامل درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، درصد گیاهچه طبیعی، طول گیاهچه و شاخص بنیه گیاهچه کوخیا تأثیر منفی می‌گذارد. با افزایش شدت تنش، شاخص‌های جوانه‌زنی و طول گیاهچه کاهش می‌یابد (شکل‌های ۲ و ۳ و ۴، آ-ت). این را می‌توان به کاهش پتانسیل آب و سمیت خاص یون های سدیم و کلر ناشی از تنش شوری نسبت داد. شکل ۲ نشان می‌دهد که درصد جذب آب بذرهای کوخیا تحت تمام تیمارهای نمکی با سطح غلظت کلرید سدیم رابطه معکوس دارد. بالاترین درصد جوانه‌زنی بذرهای کوخیا در شرایط بدون تنش اسمزی با مقدار ۸۹ درصد مشاهده شد که با سایر تیمارهای تنش اسمزی ناشی از شوری اختلاف معنی‌داری داشت. در سطح تنش اسمزی ناشی از شوری ۱/۸- مگاپاسکال نیز ۱۳ درصد جوانه‌زنی مشاهده شد (شکل ۵-آ). جوانه‌زنی بذر یکی از مهم‌ترین و حساس‌ترین مرحله رشد گیاه به شوری است که به شدت تحت تأثیر افزایش سطوح شوری قرار می‌گیرد. جوانه‌زنی بذر در سطوح اسمزی ناشی از تنش شوری معمولاً با اثرات سمی یونی، کمبود جذب آب و کاهش تحرک مواد مغذی همراه است (گول^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). در مطالعه حاضر، اثر غلظت‌های مختلف کلرید سدیم بر جوانه‌زنی بذر کوخیا انجام گرفت. سطوح اسمزی ناشی از تنش شوری جذب آب توسط بذر را محدود می‌کند و در نتیجه درصد جوانه‌زنی کل را کاهش می‌دهد (سارکر^۲ و همکاران، ۲۰۱۴). نتایج این پژوهش در راستای نتایج صبوری راد^۳ و همکاران (۲۰۱۳) بود که گزارش دادند با کاهش پتانسیل اسمزی ناشی از تنش شوری، خصوصیات جوانه‌زنی بذر کوخیا کاهش یافت. در آزمایشی دیگری که در شرایط

گلخانه‌ای توسط رنجبر و غدیری^۴ (۲۰۱۷) انجام شد، تنش شوری زمان سبز شدن را افزایش و درصد سبز شدن کوخیا را کاهش داد. کاهش جوانه‌زنی بذر در شرایط پتانسیل اسمزی ناشی از تنش شوری به دلیل اثرات فیزیکی و شیمیایی یا نمک‌های اسمزی سمی موجود در شرایط شور است (پرادهیبان^۵ و همکاران، ۲۰۱۴). علاوه بر این، غلظت بالای سدیم و کلر در محیط، با ایجاد سمیت در بذر، جوانه‌زنی بذر را به تاخیر می‌اندازد (موقیب^۶ و همکاران، ۲۰۰۴). همانند درصد جوانه‌زنی، بالاترین سرعت جوانه‌زنی بذرهای کوخیا در شرایط بدون تنش بود که با سایر سطوح شوری اختلاف معنی‌داری از نظر آماری داشت. سرعت جوانه‌زنی بذر کوخیا از ۱۵/۶ بذر در روز در شرایط بدون تنش به ۱/۹۳ بذر در روز در تیمار ۱/۸- مگاپاسکال رسید که اختلاف چشمگیر پتانسیل بالای اسمزی تنش شوری در کاهش سرعت جوانه‌زنی را نشان داد (شکل ۵-ب). برای درصد گیاهچه طبیعی بذرهای کوخیا در تمام سطوح اسمزی، اختلاف معنی‌داری وجود داشت که بیشترین درصد گیاهچه طبیعی نیز مربوط به سطح بدون تنش بود (شکل ۶-آ).

⁴ Ranjbar and Ghadiri

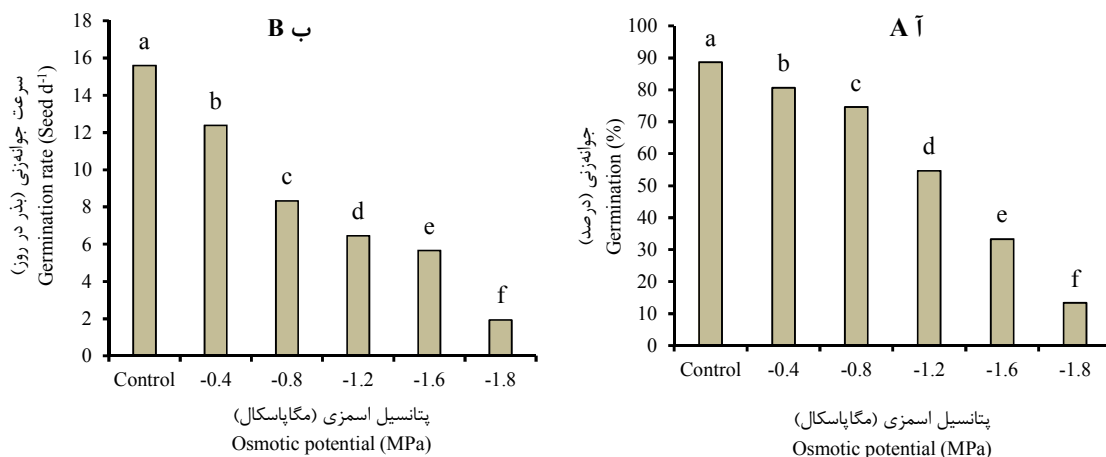
⁵ Pradheeban

⁶ Moghaieb

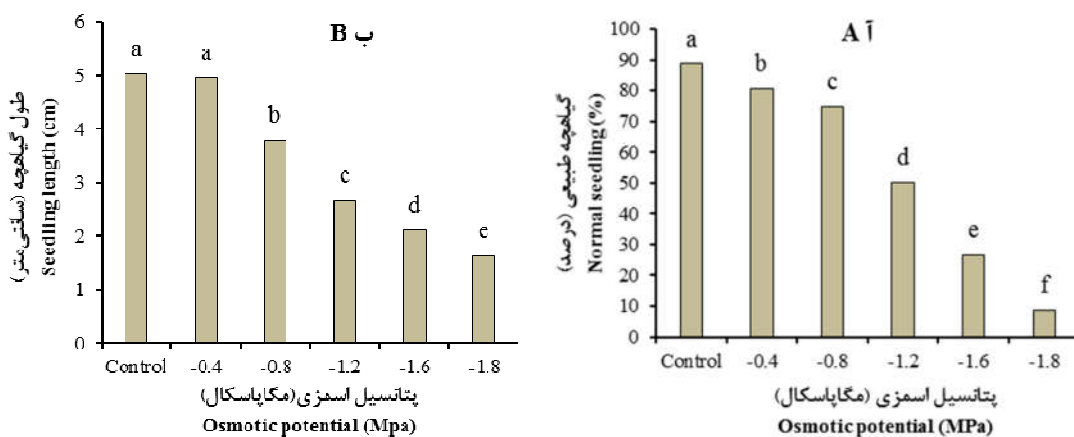
¹ Gul

² Sarker

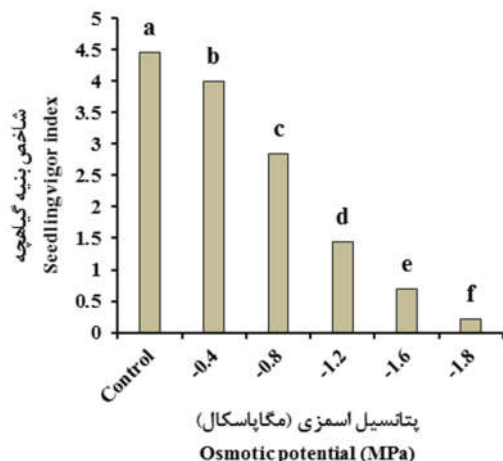
³ Sabouri Rad



شکل ۵- مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی (آ) و سرعت جوانه‌زنی (ب) بذر کوخیا تحت تأثیر سطوح مختلف تنش اسمزی ناشی از شوری
Figure 5. Mean comparison of the germination percentage (a) and germination rate (b) of Kochia as affected by different levels of osmotic stress due to salinity



شکل ۶- مقایسه میانگین درصد گیاهچه طبیعی (آ) و طول گیاهچه (ب) بذر کوخیا تحت تأثیر سطوح مختلف تنش اسمزی ناشی از شوری
Figure 6. Mean comparison of the effect of the normal seedling (a) and seedling length (b) of Kochia as affected by different levels of osmotic stress due to salinity



شکل ۷- مقایسه میانگین بنیه گیاهی بذر کوخیا تحت تأثیر

سطوح مختلف تنش اسمزی ناشی از شوری

Figure 7. Mean comparison of the seedling vigor index of *Kochia* as affected by different levels of osmotic stress due to salinity

محققان اظهار داشتند که عدم تعادل جذب آب، هیدرولیز ذخیره غذایی را محدود می‌کند و باعث عدم انتقال ذخیره غذایی از بافت ذخیره‌ای به جنین در حال رشد می‌شود (قادوس^۵، ۲۰۱۱). جذب آب در تمایز سلولی و تقسیم سلولی به دلیل تنش نمک کاهش می‌یابد که در نهایت منجر به فشار اسمزی می‌شود. غلظت نمک‌های محلول با فشار اسمزی بالا به ترتیب بر رشد گیاه با مهار جذب آب در ریشه تأثیر می‌گذارد (حمید^۶ و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تنش شوری باعث کاهش جذب آب در کوخیا می‌شود.

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که مدل‌های رگرسیونی غیرخطی پیش بینی جوانه‌زنی بذر کوخیا به تیمارهای دمایی را به‌خوبی نشان دادند. از بین مدل‌ها، مدل دو تکه‌ای از دقت و صحت بالاتری (R^2) بالاتر، RMSE و شاخص آیکائیک کمتر) برخوردار بود که در این مدل، ۰/۷ درجه سلسیوس دمای پایه، ۲۰ درجه سلسیوس دمای مطلوب و همچنین ۴۴/۳ درجه سلسیوس دمای بیشینه جوانه‌زنی بذر کوخیا تخمین

نتایج نشان داد که بلندترین طول گیاهچه بذرهای کوخیا در شرایط بدون تنش (۵/۰۳ سانتی‌متر) مشاهده شد که با پتانسیل اسمزی ناشی از شوری ۰/۴- مگاپاسکال (۴/۹۶ سانتی‌متر) اختلاف معنی‌داری نداشت اما با سایر تیمارهای شوری اختلاف معنی‌داری داشت. طول گیاهچه در تنش اسمزی ناشی از شوری ۱/۸- مگاپاسکال به ۱/۶۳ سانتی‌متر رسید (شکل ۶-ب). نتایج نشان داد که بالاترین شاخص بنیه گیاهچه بذرهای کوخیا در شرایط بدون تنش مشاهده شد که با سایر تیمارهای تنش اسمزی ناشی از شوری اختلاف معنی‌داری داشت (شکل ۷). می‌توان بیان داشت که شدت کاهش شاخص‌های جوانه‌زنی از تنش اسمزی ناشی از شوری ۱/۲- مگاپاسکال بسیار بیشتر شده است. تنش اسمزی پتانسیل تأثیر مختلفی بر گیاهان شامل تغییرات در سطوح سلولی، بیوشیمیایی و فیزیولوژیکی دارد که می‌تواند اثرات مضر بر جوانه‌زنی، رشد و عملکرد گیاهان داشته باشد (نیکولیچ^۱ و همکاران، ۲۰۲۳). در پژوهش مشابهی، فاضلی نسب^۲ و همکاران (۲۰۲۳) گزارش دادند که با افزایش سطح تنش شوری به ۲۱۰ میلی‌مولار، ۳۵/۳۴ درصد جوانه‌زنی بذر گوار نسبت به شاهد کاهش یافت. کاهش جوانه‌زنی در شرایط تنش شوری ممکن است به دلیل برخی محدودیت‌ها از جمله محتوای نمک باشد که می‌تواند بر جذب آب تأثیر بگذارد، عملکرد غشا را مختل کند و یا بر پروتئین در جنین بذرهای جوانه‌زده تأثیر بگذارد (هاناچی و ون لابی^۳، ۲۰۱۸). همچنین، عدم جذب آب به دلیل غلظت بالای نمک نیز مانع از تحرک مواد مغذی ضروری مورد نیاز برای جوانه‌زنی می‌شود. علاوه بر این، غلظت بالای کلرید سدیم (NaCl) در مراحل اولیه رشد نیز باعث سمیت سدیم و کلر برای جنین و گیاهچه‌ها می‌شود که در نتیجه آن رشد گیاه متوقف می‌گردد (مرادی و همکاران، ۲۰۱۸؛ کایماکانووا^۴، ۲۰۰۹).

¹ Nikolić

² Fazeli-Nasab

³ Hannachi and Van Labeke

⁴ Kaymakanova

⁵ Qados

⁶ Hameed

زده شد. بر اساس نتایج آزمایش دوم، افزایش سطح
اسمزی ناشی از تنش شوری، پتانسیل جوانه‌زنی و رشد
گیاهچه‌ای بذر کوخیا را به‌طور چشمگیری کاهش داد
به‌طوری‌که در سطح ۱/۸- مگاپاسکال، جوانه‌زنی از ۸۹
به ۱۳ درصد رسید.

منابع

- Abdulkaki, A.A., and Anderson J.D. 1975. Vigour determination in soybean seed by multiple criteria. *Crop Science*, 13: 630-633. <https://doi.org/10.2135/cropsci1973.0011183X001300060013x>
- Akram-Ghadery, F., Soltani, E., Soltani A., and Miri, A.A. 2008. Effect of priming on response of germination to temperature in cotton. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 15(3): 44-51.
- Balfagón, D., Zandalinas, S.I., Mittler, R., and Gómez-Cadenas, A. 2020. High temperatures modify plant responses to abiotic stress conditions. *Physiologia Plantarum*, 170(3): 335-344. <https://doi.org/10.1111/ppl.13151>
- Balouchi, H., Soltani Khankahdani, V., Moradi, A., Gholamhoseini, M., Piri, R., Heydari, S.Z., and Dedicova, B. 2023. Seed fatty acid changes germination response to temperature and water potentials in six sesame (*Sesamum indicum* L.) cultivars: Estimating the cardinal temperatures. *Agriculture*, 13(10): 1936. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101936>
- Bradford, K.J. 2017. Water relations in seed germination. In *Seed development and germination*. Routledge. pp 351-396. <https://doi.org/10.1201/9780203740071-13>
- Dashti, M., Kafi, M., Tavakkoli, H., and Mirza, M. 2015. Cardinal temperatures for germination of *Salvia leriifolia* Benth. *Herba Polonica*, 61(1): 5-18. <https://doi.org/10.1515/hepo-2015-0006>
- Deihimfard, R., Nazari, S., and Qorani, Y. 2017. Estimation of cardinal temperatures of *Lepyrodictis holosteoides* using regression models. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 6(2): 107-117. [In Persian]
- Donohue, K., Casas, R.R.D., Burghardt, L., Kovach, K., and Willis, C.G. 2010. Germination, post-germination adaptation, and species ecological ranges. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*. 41: 293-319. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-102209-144715>
- Duarte, A.A., de Lemos Filho, J.P., and Marques, A.R. 2018. Seed germination of bromeliad species from the campo rupestre: thermal time requirements and response under predicted climate-change scenarios. *Flora*, 238: 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2017.05.016>
- Eberle, C.A., Forcella, F., Gesch, R., Peterson, D., and Eklund, J. 2014. Seed germination of calendula in response to temperature. *Industrial Crops and Products*, 52: 199- 204. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.10.031>
- Edalat, M., and Kazemeini, S.A. 2014. Estimation of cardinal temperatures for seedling emergence in corn. *Australian Journal of Crop Science*, 8(7): 1072-1078.
- El Sabagh, A., Hossain, A., Barutçular, C., Iqbal, M.A., Islam, M.S., Fahad, S., Sytar, O., Çiğ, F., Meena, R.S., and Erman, M. 2020. Consequences of salinity stress on the quality of crops and its mitigation strategies for sustainable crop production: An outlook of arid and semi-arid regions. *Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth*. Springer Nature, AG Switzerland, pp. 503-533. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_20
- Fakhfakh, L.M., Anjum, N.A., and Chaieb, M. 2018. Effects of temperature and water limitation on the germination of *Stipagrostis ciliata* seeds collected from Sidi Bouzid Governorate in Central Tunisia. *Journal of Arid Land*, 10: 304-315. <https://doi.org/10.1007/s40333-018-0050-x>
- Fazeli-Nasab, B., Khajeh, H., Piri, R., and Moradian, Z. 2023. Effect of humic acid on germination characteristics of *Lallemantia royleana* and *Cyamopsis tetragonoloba* under salinity stress. *Iranian Journal Seed Research*, 9(2): 41-52. [In Persian] <https://doi.org/10.61186/yujs.9.2.51>

- Ganjeali, A., Parsa, M., and Amiri-Deh-Ahmadi, R. 2012. Determination of cardinal temperatures and thermal time requirement during germination and emergence of chickpea genotypes (*Cicer arietinum* L.). Iranian Journal Pulses Research, 2(2): 97-108. [In Persian]
- Gul, B., Ansari, R., Flowers, T.J., and Khan, M.A. 2013. Germination strategies of halophyte seeds under salinity. Environmental and Experimental Botany, 92: 4-18. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.11.006>
- Hameed, A., Rasheed, A., Gul, B., and Khan, M.A., 2014. Salinity inhibits seed germination of perennial halophytes *Limonium stocksii* and *Suaeda fruticosa* by reducing water uptake and ascorbate dependent antioxidant system. Environmental and Experimental Botany, 107: 32-38. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2014.04.005>
- Hannachi, S., and Van Labeke, M.C. 2018. Salt stress affects germination, seedling growth and physiological responses differentially in eggplant cultivars (*Solanum melongena* L.). Scientia Horticulturae, 228: 56-65. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.002>
- Ikic, I., Maricevic, M., Tomasovic, S., Gunjaca, J., Atovic Z.S., and Arcevic. H.S. 2012. The effect of germination temperature on seed dormancy in Croatian-grown winter wheats. Euphytica, 188: 25-34. <https://doi.org/10.1007/s10681-012-0735-8>
- Jafari, B., Kordrostami, M., and Ghasemi-Soloklui, A.A. 2024. Maximizing tomato seed germination: quantifying cardinal temperatures and thermal time requirements. International Journal of Horticultural Science and Technology, 11(1): 83-94.
- Kafi, M., Asadi, H., and Ganjeali, A. 2010. Possible utilization of high-salinity waters and application of low amounts of water for production of the halophyte *Kochia scoparia* as alternative fodder in saline agroecosystems. Agricultural Water Management, 97(1): 139-147. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2009.08.022>
- Kaymakanova, M. 2009. Effect of salinity on germination and seed physiology in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Biotechnology and Biotechnological Equipment, 23: 326-329. <https://doi.org/10.1080/13102818.2009.10818430>
- Khacim, H., Kende, Z., Balla, I., Gyuricza, C., Eser, A., and Tarnawa, A. 2022. The effect of temperature and water stresses on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). Sustainability, 14(7): 1-21. <https://doi.org/10.3390/su14073887>
- Kozłowska, W., Matkowski, A., and Zielińska, S. 2022. Light intensity and temperature effect on *Salvia yangii* (BT Drew) metabolic profile in vitro. Frontiers in Plant Science, 13: 888509. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.888509>
- Lamichhane, J.R., Constantin, J., Schoving, C., Maury, P., Debaeke, P., Aubertot, J.N., and Dürr, C. 2020. Analysis of soybean germination, emergence, and prediction of a possible northward establishment of the crop under climate change. European Journal of Agronomy, 113: 125972. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125972>
- Moghaieb, R.E., Saneoka, H., and Fujita, K. 2004. Effect of salinity on osmotic adjustment, glycinebetaine accumulation and the betaine aldehyde dehydrogenase gene expression in two halophytic plants, *Salicornia europaea* and *Suaeda maritima*. Plant Science, 166(5): 1345-1349. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2004.01.016>
- Moradi, A. and Piri, R. 2018. Enhancement of salinity stress tolerance in cumin (*Cuminum cyminum* L.) as affected by plant growth promoting rhizobacteria during germination stage. Journal of Plant Process and Function, 6(22): 47-53. [In Persian]. <https://doi.org/20.1001.1.23222727.1396.6.22.8.2>
- Moradi, A., Hoseini-moghadam M. and Piri, R. 2018. Effect of seed inoculation with Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on some germination, biochemical indices and element contents of fennel (*Foeniculum vulgare* L.) under salinity stress. Iranian Journal of Field Crop Science, 49(3): 151-165. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2018.247787.654420>

- Nikolić, N., Ghirardelli, A., Schiavon, M., and Masin, R. 2023. Effects of the salinity-temperature interaction on seed germination and early seedling development: a comparative study of crop and weed species. *BMC Plant Biology*, 23(1): 446. <https://doi.org/10.1186/s12870-023-04465-8>
- Pradheeban, L., Nissanka, N., and Suriyagoda, L.D.B. 2014. Clustering of rice (*Oryza sativa* L.) varieties cultivated in Jaffna District of Sri Lanka based on salt tolerance during germination and seedling stages. *Tropical Agriculture Research*, 25(3): 358-375. <https://doi.org/10.4038/tar.v25i3.8045>
- Qados, A.M.A. 2011. Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* L.). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 10(1):7-15. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2010.06.002>
- Ranjbar, G., and Ghadiri, H. 2017. Quantification of seedling emergence of kochia (*Kochia indica*) affected by temperature, salinity and seeding depth. *Iranian Journal of Seed Research*, 3(2): 41-55. [In Persian] <https://doi.org/10.29252/yujs.3.2.41>
- Sabouri Rad, S., Kafī, M., Nezami, A., and Banayan, M. 2013. Investigating the germination behavior of kochia (*Kochia scoparia* L. Schard) seeds in response to different temperatures and salinity stresses. *Journal of Agroecology*, 4(4): 282-293. [In Persian]
- Sachdev, S., Ansari, S.A., Ansari, M.I., Fujita, M., and Hasanuzzaman, M. 2021. Abiotic stress and reactive oxygen species: Generation, signaling, and defense mechanisms. *Antioxidants*, 10 (277): 1-37. <https://doi.org/10.3390/antiox10020277>
- Safdar, H., Amin, A., Shafiq, Y., Ali, A., Yasin, R., Shoukat, A., Hussan, M.U., and Sarwar, M.I. 2019. A review: Impact of salinity on plant growth. *Natural Sciences*, 17(1): 34-40.
- Sarker, A., Hossain, M.I., and Kashem, M.A. 2014. Salinity (NaCl) tolerance of four vegetable crops during germination and early seedling growth. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 3(1): 91-95.
- Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modelling 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>
- Szczerba, A., Agnieszka, P., Jakub, P., Przemysław, K., Marta H., and Franciszek D. 2021. Effect of low temperature on germination, growth, and seed yield of four soybean (*Glycine max* L.) cultivars. *Agronomy*, 11(800): 1-17. <https://doi.org/10.3390/agronomy11040800>
- Torabi, B., Adibniya, M., and Rahimi, A. 2015. Seedling emergence response to temperature in safflower: measurements and modeling. *International Journal of Plant Production*, 9(3): 393-412.
- Torabi, B., Archontoulis, S.V., and Hoogenboom, G. 2020. A new function for prediction of biological processes response to temperature. *International Journal of Plant Production*, 14: 9-22. <https://doi.org/10.1007/s42106-019-00063-7>
- Ullah, A., Sadaf, S., Ullah, S., Alshaya, H., Okla, M.K., Alwasel, Y.A., and Tariq, A. 2022. Using halothermal time model to describe barley (*Hordeum vulgare* L.) seed germination response to water potential and temperature. *Life*, 12 (209): 1-15. <https://doi.org/10.3390/life12020209>
- Van't Hoff, J. H. 1887. The role of osmotic pressure in the analogy between solution and gases. *Zeitschrift Physicalische Chemie*, 1: 481-508. <https://doi.org/10.1088/1478-7814/9/1/344>
- Verma, S.K., Bjpai, G.C., Tewari, S.K., and Singh, J. 2005. Seedling index and yield as influenced by seed size in pigeon pea. *Legume Research*, 28(2): 143-145.
- Walck, J.L., Hidayati, S.N., Dixon, K.W., Thompson, K.E.N., and Poschlod, P. 2011. Climate change and plant regeneration from seed. *Global Change Biology*, 17(6): 2145-2161. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02368.x>
- Yan, A., and Chen, Z. 2020. The control of seed dormancy and germination by temperature, light and nitrate. *The Botanical Review*, 86(1): 39-75. <https://doi.org/10.1007/s12229-020-09220-4>
- Zhi, L., and Hu, X. 2023. Adventitious root regeneration: Molecular basis and influencing factors. *Phyton*, 92(10): 2825-2840. <https://doi.org/10.32604/phyton.2023.030912>