

مقاله پژوهشی

کمی‌سازی جوانه‌زنی بذر گوآر (*Cyamopsis tetragonoloba*) نسبت به دما

سید حمیدرضا رضانی<sup>۱\*</sup>، فریبا آرمون<sup>۲</sup>، محمد علی بهدانی<sup>۲</sup>

چکیده مبسوط

مقدمه: گوآر با نام علمی *Cyamopsis tetragonoloba* L. گیاهی از خانواده بقولات است. صمغ گوآر (حاصل آندوسپرم موجود در بذر) در بسیاری از صنایع مانند صنایع دارویی و غذایی، صنعت کاغذ، معدن، نفت و حفاری، نساجی و تولید مواد منفجره مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل‌سازی روشی است که در پیش‌بینی مراحل رشدی گیاه و تعیین واحدهای حرارتی مورد نیاز در هر مرحله رشدی بخصوص جوانه‌زنی کاربرد فراوان دارد. با توجه به کاربردهای مهم درمانی و صنعتی گیاه گوآر و نبود اطلاعات و گزارش‌های کافی مبنی بر تعیین دماهای کاردینال این گیاه، هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر دما بر صفات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه و پیش‌بینی دماهای کاردینال (حداقل، بهینه و حداکثر) جوانه‌زنی این گیاه بود.

مواد و روش‌ها: این پژوهش در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی سرایان دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۶ اجرا گردید. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ سطح تیمار دمایی شامل دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس و ۵ تکرار انجام شد. صفات درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی روزانه، متوسط جوانه‌زنی روزانه، طول ساقه‌چه، طول ریشه‌چه و طول گیاهچه اندازه‌گیری و محاسبه شد. دماهای کاردینال جوانه‌زنی با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیونی و به کمک مدل‌های ارائه شده (مدل‌های رگرسیون غیرخطی لجستیک، دوتکه‌ای، چند جمله‌ای درجه دوم و درجه سوم) و با استفاده از سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد. مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای رسم نمودارهای سرعت جوانه‌زنی در برابر دما (برازش مدل‌های مختلف) از نرم افزار سیگماپلات استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که تأثیر سطوح مختلف دما بر جوانه‌زنی بذر گوآر بر سه مؤلفه درصد، سرعت و متوسط جوانه‌زنی بذر معنی‌دار بود. با توجه به نتایج بدست آمده کمترین مقادیر مربوط به درصد، سرعت و متوسط جوانه‌زنی در دماهای ۵، ۱۰ و ۴۰ درجه سلسیوس بدست آمد و بیشترین مقادیر مربوط به سرعت جوانه‌زنی در دمای ۱۵ درجه سلسیوس و همچنین بیشترین مقادیر مربوط به درصد جوانه‌زنی و متوسط جوانه‌زنی در دمای ۳۵ درجه سلسیوس مشاهده شد. نتایج تأثیر سطوح مختلف دما بر رشد گیاهچه گوآر نشان داد که تأثیر دما بر سه مؤلفه طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه بذر معنی‌دار شد. به طوری که کمترین مقادیر مربوط به طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه در دماهای ۵، ۱۰ و ۴۰ درجه سلسیوس مشاهده گردید. بیشترین طول گیاهچه و ساقه‌چه در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود.

نتیجه‌گیری: کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذر گوآر به سطوح مختلف دما با استفاده از چهار تابع دوتکه‌ای، لجستیک، چندجمله‌ای درجه دو و درجه سه صورت گرفت. مدل رگرسیون چندجمله‌ای درجه دو براساس ضریب تبیین ( $R^2$ ) و میزان انحراف، برازش مناسب و معنی‌داری با داده‌های مربوط به سرعت جوانه‌زنی در مقابل متغیر مستقل دما داشت. براساس پارامترهای مدل مذکور دمای بهینه جوانه‌زنی گوآر، ۲۶/۰۵ درجه سلسیوس بدست آمد و دمای حداقل و حداکثر جوانه‌زنی گوآر به ترتیب ۶/۰۹ و ۴۰ درجه سلسیوس محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: دمای کاردینال، سرعت جوانه‌زنی، گوآر، مدل چندجمله‌ای درجه سه

جنبه‌های نوآوری:

- ۱- پیش‌بینی دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر گوآر امکان‌سنجی شد.
- ۲- تاریخ کاشت گوآر بر اساس دماهای کاردینال جوانه‌زنی قابل پیش‌بینی گردید.



## مقدمه

گوآر<sup>۱</sup> با نام علمی *Cyamopsis tetragonoloba* L. گیاهی از خانواده بقولات است. این گیاه دولپه‌ای و یک ساله است. در گستره وسیعی از خاک‌ها و در آب و هوای خشک تا نیمه خشک می‌روید. کشت گوآر در مناطقی با آب و هوای گرم با تابستان نیمه گرمسیری و گرم به خوبی انجام می‌گیرد. این گیاه از طریق تثبیت زیستی نیتروژن و افزودن بقایا به خاک باعث بهبود حاصلخیزی خاک نیز می‌شود (مهلا<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۰). ریشه گوآر مانند سایر گیاهان خانواده بقولات دارای باکتری‌های تثبیت کننده نیتروژن می‌باشد که به غنی‌تر نمودن خاک از نیتروژن کمک می‌کند. صمغ گوآر (گوآر گام) حاصل اندوسپرم موجود در بذر گیاه گوآر می‌باشد. صمغ گوآر در بسیاری از صنایع مانند صنایع دارویی و غذایی، صنعت کاغذ، معدن، نفت و حفاری، نساجی و تولید مواد منفجره مورد استفاده قرار می‌گیرد. اخیراً استفاده از آن به عنوان جایگزینی برای آگار در محیط کشت بافت گزارش شده است (مهلا و همکاران، ۲۰۱۰). این گیاه می‌تواند در شرایط آب و هوای گرم برای مدت طولانی در برابر کم آبی و شوری بالا مقاومت داشته باشد، به همین دلیل می‌تواند به عنوان یک محصول مناسب در مناطق خشک و نیمه خشک کاشته شود (مهلا و همکاران، ۲۰۱۰). کاشت گیاه گوآر برای نخستین بار به کشور هندوستان برمی‌گردد. امروزه تولید عمده این ماده در جهان در کشورهای هند، پاکستان و آمریکا صورت می‌پذیرد. قابل ذکر است که گیاه گوآر در استرالیا و آفریقا به میزان کم کشت داده می‌شود. ۸۰ درصد گوآر مصرفی جهان در کشور هند و از این میزان ۷۰ درصد در ایالت راجستان و ۶۰ درصد از این مقدار در شهر جادپور این ایالت تولید می‌شود (ناریگل<sup>۳</sup>، ۲۰۱۷). رشد و نمو گیاهان علاوه بر عوامل ژنتیکی تحت تأثیر عوامل محیطی قرار دارد و درجه حرارت مهمترین عامل محیطی مؤثر بر فعالیت‌های فیزیولوژیکی در کلیه مراحل رشد اعم از جوانه‌زنی، گلدهی، رشد، فتوسنتز و تنفس می‌باشد که به همراه سایر عوامل نقش تعیین کننده در

پتانسیل عملکرد گیاهان دارد (رحیمی و کافی<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰). جوانه‌زنی از بحرانی‌ترین مراحل استقرار گیاهچه‌های گیاهان است و در صورت مهیا بودن سایر شرایط رشدی تراکم نهایی بوته در واحد سطح توسط دما محدود می‌شود (جوردن و هافرکامپ<sup>۵</sup>، ۱۹۸۹).

با توجه به اهمیت دما در سرعت و درصد جوانه‌زنی بذرها، تعیین بهترین دما برای جوانه‌زنی بذرهاي مختلف، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به‌طور کلی اثر دما بر جوانه‌زنی برحسب دماهای کاردینال بیان می‌شود. دماهای کاردینال شامل سه دمای حداقل یا پایه ( $T_b$ )، بهینه یا مطلوب ( $T_o$ ) و حداکثر یا سقف ( $T_c$ ) می‌باشند. دمای حداقل، کمترین دمایی است که در آن سرعت جوانه‌زنی صفر است و در واقع جوانه‌زنی در آن رخ نمی‌دهد. دمای حداکثر، نیز بالاترین دمایی است که در آن سرعت جوانه‌زنی به صفر می‌رسد و دمای بهینه دمایی است که در آن بالاترین سرعت جوانه‌زنی مشاهده می‌شود (الوارادو و برادفورد<sup>۶</sup>، ۲۰۰۲؛ کوچکی<sup>۷</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ رامین<sup>۸</sup>، ۱۹۹۷). دمای کاردینال پارامتری است که در مدل‌سازی، پیش‌بینی مراحل رشدی گیاه و تعیین واحدهای حرارتی مورد نیاز در هر مرحله رشدی کاربرد فراوان دارد و در گونه‌های زراعی برای تعیین تاریخ کشت مناسب و در نتیجه استقرار مطلوب بوته بسیار مهم است (غلامی-تیلبنی<sup>۹</sup> و همکاران، ۲۰۱۱). در واقع با تعیین دماهای کاردینال برای گونه‌های مختلف، تخمین محدوده جغرافیائی مطلوب برای کشت و رشد مناسب گیاه امکان‌پذیر خواهد بود (محمودی<sup>۱۰</sup> و همکاران، ۲۰۰۸). سرعت جوانه‌زنی با افزایش دما تا دمای مطلوب جوانه‌زنی افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد یا ثابت است و سپس کاهش می‌یابد (کبری و موردوج<sup>۱۱</sup>، ۲۰۰۰). به‌طور

<sup>4</sup> Rahimi and Kaffi

<sup>5</sup> Jordan and Haferkamp

<sup>6</sup> Base temperature

<sup>7</sup> Optimum temperature

<sup>8</sup> Ceiling temperature

<sup>9</sup> Alvarado and Bradford

<sup>10</sup> Koocheki

<sup>11</sup> Ramin

<sup>12</sup> Gholami-Tilebeni

<sup>13</sup> Mahmoodi

<sup>14</sup> Kebreab and Murdoch

<sup>1</sup> Guar

<sup>2</sup> Mahla

<sup>3</sup> Narigol

خشخاش (*Papaver somniferum*) استفاده و مدل دوتکه‌ای را بهترین مدل گزارش کردند. در خصوص تعیین دماهای کاردینال تحقیقات متعدد دیگری صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات روی تره ایرانی (گلزار<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۸)، کدوی تخم کاغذی و سیاه‌دانه (قادری‌فر<sup>۱۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۸)، منداب (جلیلیان و خلیلی اقدم<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۴)، علف خرچنگ (پورتوسی<sup>۱۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹)، همیشه بهار (خلیلی اقدم و همکاران، ۲۰۱۶)، کاسنی (بالندری<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۱)، گندم (احمدی<sup>۱۷</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ زینلی<sup>۱۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۰؛ کوندون<sup>۱۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۲)، کوشیا (صبوری‌راد و همکاران، ۲۰۱۱)، علف گندمی (هاردگری، ۲۰۰۶) و خاکشیر (پوررضا و بحرانی، ۲۰۱۲) اشاره داشت.

با توجه به کاربردهای مهم درمانی و صنعتی گیاه گوار و نبود اطلاعات و گزارشات کافی مبنی بر تعیین دماهای کاردینال این گیاه، لذا هدف از انجام این پژوهش بررسی اثر دما بر صفات جوانه‌زنی و رشد اولیه گیاهچه گوار بود، ضمن اینکه دماهای کاردینال (حداقل، بهینه و حداکثر) جوانه‌زنی این گیاه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت.

#### مواد و روش‌ها

این پژوهش در آزمایشگاه علوم و تکنولوژی بذر دانشکده کشاورزی سرایان دانشگاه بیرجند در سال ۱۳۹۶ اجرا گردید. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۸ سطح تیمار دمایی شامل دماهای ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ درجه سلسیوس و ۵ تکرار انجام شد. ابتدا بذرها با محلول هیپوکلریت سدیم ۵ درصد به مدت ۲ دقیقه ضدعفونی گردید. سپس ۳ مرتبه با آب مقطر شستشو داده شدند و در نهایت بذرها، درون پتری‌هایی به قطر ۱۰ سانتی‌متر که حاوی دو لایه کاغذ صافی و ۵

کلی، در گیاهان، سرعت نمو در دمای پایه صفر است و با افزایش دما تا دمای بهینه افزایش می‌یابد؛ ولی در دماهای بالاتر از آن افت شدیدی نشان می‌دهد (اویدل<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۶).

محاسبه دماهای کاردینال بر اساس رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما، روشی است که در مطالعات تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی گزارش شده است (کولباچ<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۲؛ جاکوبسن و باچ<sup>۳</sup>، ۱۹۹۸). برخی از محققان استفاده از مدل‌های ریاضی را برای بدست آوردن دماهای کاردینال گزارش کردند (جامی‌آل-احمدی و کافی<sup>۴</sup>، ۲۰۰۷؛ هاردگری و وینسترال<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶). گزارش‌های زیادی در زمینه استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای تخمین دماهای کاردینال وجود دارد. در تحقیقی روی ماشک سردسیری و گرمسیری، مدل دوتکه‌ای به‌خوبی قادر به برآورد دمای کاردینال جوانه‌زنی بود (خلیلی اقدم و جلیلیان<sup>۶</sup>، ۲۰۱۵). کامکار و همکاران (۲۰۰۶) دماهای کاردینال سه گونه ارزن را با استفاده از مدل رگرسیون غیر خطی خطوط متقاطع تعیین نمودند. صبوری‌راد<sup>۷</sup> و همکاران (۲۰۱۱) نیز نشان دادند که دقت مدل‌های بتا، درجه دوم، منحنی، دندان مانند و دو تکه‌ای در تخمین دمای کاردینال ژنوتیپ‌های برنج متفاوت است. سلطانی<sup>۸</sup> و همکاران (۲۰۰۶) در ارزیابی پاسخ جوانه‌زنی نخود به سطوح مختلف دما و عمق کاشت از توابع بتا و دندان مانند استفاده کرده‌اند. بلاک‌شو<sup>۹</sup> (۱۹۹۱) مدل لجستیک را برای گندم و کامکار<sup>۱۰</sup> و همکاران (۲۰۰۶، ۲۰۰۸) مدل دوتکه‌ای و لجستیک را برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی سه گونه ارزن و یک واریته گندم (تجن) استفاده کردند. کامکار<sup>۱۱</sup> و همکاران (۲۰۱۲) سه مدل بتا، دوتکه‌ای و دندان‌مانند را برای تعیین دماهای کاردینال گیاه دارویی

<sup>1</sup> Oyedele

<sup>2</sup> Colbach

<sup>3</sup> Jacobsen and Bach

<sup>4</sup> Jami Al-Ahmadi

<sup>5</sup> Hardegree and Winstral

<sup>6</sup> Khalili Aqdam and Jalilian

<sup>7</sup> Sabouri-Rad

<sup>8</sup> Soltani

<sup>9</sup> Blackshow

<sup>10</sup> Kamkar

<sup>11</sup> Kamkar

<sup>12</sup> Gulzar

<sup>13</sup> Ghaderi-Far

<sup>14</sup> Jalilian and Khalili Aqdam

<sup>15</sup> Poortoosi

<sup>16</sup> Balandari

<sup>17</sup> Ahmadi

<sup>18</sup> Zainali

<sup>19</sup> Condon

در این رابطه  $FGP^{10}$  درصد جوانه‌زنی نهایی (قوه نامیه) و  $d$  تعداد روز تا رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی نهایی (طول دوره آزمایش) می‌باشد (لکسموند و واندرورم<sup>۱۱</sup>، ۱۹۸۱).

### سرعت جوانه‌زنی روزانه (DGS):

این شاخص، عکس متوسط جوانه‌زنی روزانه و با رابطه ۳ می‌باشد (ماجر<sup>۱۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۲):

$$\text{رابطه ۳: } DGS = \frac{1}{MDG}$$

دماهای کاردینال جوانه‌زنی با استفاده از تجزیه و تحلیل رگرسیونی و به کمک مدل‌های ارائه شده و با استفاده از سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد. محاسبه دماهای کاردینال براساس رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما، روشی مرسوم در مطالعات مربوط به تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی به حساب می‌آید (برادفورد و هیق<sup>۱۳</sup>، ۱۹۹۴؛ کولباچ و همکاران، ۲۰۰۲). برای پیش‌بینی دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر گوآر از مدل‌های رگرسیون غیرخطی لجستیک، دو تکه‌ای، چند جمله‌ای درجه دوم و درجه سوم استفاده شد (جدول ۱).

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS version 9.1.3

تجزیه آماری شدند و مقایسه میانگین‌ها با آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد صورت گرفت. برای رسم نمودارهای سرعت جوانه‌زنی در برابر دما (برازش مدل‌های مختلف) از نرم‌افزار سیگماپلات (SigmaPlot) استفاده شد.

### نتایج و بحث

#### تأثیر دما بر جوانه‌زنی

تأثیر سطوح مختلف دما بر جوانه‌زنی بذر گوآر بر سه مؤلفه درصد، سرعت و متوسط جوانه‌زنی بذر معنی‌دار ( $P < 0.05$ ) بود (جدول ۲). با توجه به نتایج بدست آمده کمترین مقادیر مربوط به درصد، سرعت و متوسط جوانه‌زنی در دماهای ۵، ۱۰ و ۴۰ درجه سلسیوس به دست آمد و بیشترین سرعت جوانه‌زنی در

میلی‌لیتر آب مقطر سترون کشت شدند. ظروف پتری حاوی بذر (داخل هر پتری ۲۵ عدد بذر) به ژرمیناتورهای تنظیم شده در دمای ثابت موردنظر و تحت فتوپریود ۱۲ ساعت روشنایی / ۱۲ ساعت تاریکی، منتقل شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده تا ۱۴ روز پس از شروع آزمایش هر روز در یک ساعت مشخص انجام شد و این کار تا زمانی ادامه یافت که در هر واحد آزمایشی سه روز متوالی تغییری در تعداد بذرهای جوانه‌زده مشاهده نشد. مبنای جوانه‌زنی بذر، خروج ریشه‌چه از پوسته بذر به میزان ۲ میلی‌متر بود (آدام<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). پایان روز چهاردهم، ۱۰ گیاهچه به‌طور تصادفی از هر واحد آزمایشی برداشته شده و طول ریشه‌چه و ساقه‌چه نمونه‌ها با خط‌کش میلی‌متری اندازه‌گیری شدند. پس از مدت زمان لازم از کشت بذر (۱۴ روز) و رشد مطلوب گیاهچه‌ها، درصد جوانه‌زنی (GP)<sup>۲</sup>، سرعت جوانه‌زنی روزانه (DGS)<sup>۳</sup>، متوسط جوانه‌زنی روزانه (MDG)<sup>۴</sup>، طول ساقه‌چه (PL)<sup>۵</sup>، طول ریشه‌چه (RL)<sup>۶</sup> و طول گیاهچه (SL)<sup>۷</sup> اندازه‌گیری و محاسبه شد.

### درصد جوانه‌زنی (GP):

$$\text{رابطه ۱: } GP = \left(\frac{n}{N}\right) \times 100$$

در این رابطه GP درصد جوانه‌زنی،  $n$  تعداد بذرهای جوانه‌زده و  $N$  تعداد کل بذرهای می‌باشد (ماگوئیر<sup>۸</sup>، ۱۹۶۲؛ نیکولز و هیدکر<sup>۹</sup>، ۱۹۸۶).

### متوسط جوانه‌زنی روزانه (MDG):

متوسط جوانه‌زنی روزانه که شاخصی از سرعت جوانه‌زنی روزانه می‌باشد از رابطه ۲ تعیین گردید:

$$\text{رابطه ۲: } MDG = \frac{FGP}{d}$$

<sup>1</sup> Adam

<sup>2</sup> Germination Percentage

<sup>3</sup> Daily Germination Speed

<sup>4</sup> Medium Daily Germination

<sup>5</sup> Plumule Length

<sup>6</sup> Radicle Length

<sup>7</sup> Seedling Length

<sup>8</sup> Maguire

<sup>9</sup> Nichols and Heydecker

<sup>10</sup> Final Germination Percentage

<sup>11</sup> Lexmond and Vandervorm

<sup>12</sup> Majer

<sup>13</sup> Bradford and Haigh

جدول ۱. مدل‌های برازش داده شده برای تعیین دماهای کاردینال بذور گوآر

Table 1. Fitted models for determining the cardinal temperatures of guar seeds

مدل (Model)	
لجستیک Logistic	$f(T) = \left[ \frac{1}{1 + \text{Exp}^{-2+(T-T_c)}} \right]$
دوتکه‌ای Segmented	$f(T) = (T - T_b) / (T_o - T_b)$ If $T_b < T < T_o$ $f(T) = \left[ 1 - \left( \frac{T_c - T}{T_c - T_o} \right) \right]$ If $T_o \leq T < T_c$ $f(T) = 0$ If $T \geq T_c$ or $T \leq T_b$
درجه دوم Quadratic	$f(T) = [(T - T_b) * (T_c - T) * \left( \frac{T_c - T_b}{2} \right)^{-2}]$
درجه سوم Cubic	$f(T) = a + bT + cT^2 + dT^3$

افزایشی دما تا محدوده خاصی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها می‌باشند (بنایان<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۶؛ هاردگری و وینسترال، ۲۰۰۶). از طرفی دماهای بالا علاوه بر کاهش سرعت جوانه‌زنی سبب زوال بذر نیز می‌شود (هاردگری، ۲۰۰۶). موال<sup>۴</sup> و همکاران (۱۹۹۴) نیز نشان دادند که با افزایش دما سرعت جوانه‌زنی حداقل در یک دامنه دمایی بطور خطی افزایش می‌یابد و در دماهای بالاتر از آن بطور سریع افت پیدا می‌کند. طبق گزارش خلیلی‌اقدم و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی روی بذر کتان، با افزایش دما از ۵ درجه سلسیوس بر درصد و سرعت جوانه‌زنی افزوده شد تا در دمای ۱۵ درجه سلسیوس حداکثر درصد جوانه‌زنی و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس حداکثر سرعت جوانه‌زنی اتفاق افتاد و با افزایش دما از این مقادیر، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. محققین دیگر نیز اعلام کردند دماهای کمتر از ۱۵ درجه سلسیوس باعث کاهش معنی‌دار حداکثر جوانه‌زنی در بذر کلزا شدند به طوری که کمترین جوانه‌زنی در دمای ۴/۵ درجه و بیشترین جوانه‌زنی در دماهای ۱۵ و ۲۰ درجه سلسیوس انجام شد (لطیفی<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۴). همچنین بیشترین مقادیر جوانه‌زنی گندم در دماهای ۱۳ تا ۲۰ درجه گزارش شده است (زینلی و همکاران، ۲۰۱۰). بیشترین درصد جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی شیرین بیان نیز در دامنه دماهای ۱۵ تا

دمای ۱۵ درجه سلسیوس و همچنین بیشترین درصد جوانه‌زنی و متوسط جوانه‌زنی در دمای ۳۵ درجه سلسیوس مشاهده شد به طوری که در دماهای ۵ و ۱۰ درجه سلسیوس مقادیر مؤلفه‌های جوانه‌زنی صفر بود و با افزایش دما بر این مقادیر افزوده شد تا در دمای ۱۵ درجه سلسیوس حداکثر سرعت جوانه‌زنی و در دمای ۳۵ درجه سلسیوس حداکثر درصد جوانه‌زنی و حداکثر متوسط جوانه‌زنی اتفاق افتاد و بعد از آن با افزایش دما مقادیر مربوطه کاهش یافت و در دمای ۴۰ درجه سلسیوس به صفر رسید (جدول ۳).

دلیل کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی در دماهای نامطلوب را می‌توان کاهش یا ممانعت از فعالیت آنزیم‌ها و در نتیجه کاهش سرعت فرآیندهای بیوسنتزی لازم برای جوانه‌زنی در این دماها دانست (کاماها و ماگور<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲). فرآیندهای بیوشیمیایی مربوط به جوانه‌زنی شامل فعالیت هورمون‌ها (بویژه جیبرلین)، فعالیت آنزیم‌ها (آمیلاز، اینورتاز، پروتئاز و لیپاز) و در نهایت هضم، تجزیه ذخایر بذر و انتقال آن به محور جنین که وابسته به درجه حرارت و رطوبت هستند. به علاوه جذب فعال آب توسط بذر در محیط مرطوب، متأثر از درجه حرارت است (کوچکی و همکاران، ۱۹۸۸).

طبق نظر کاپلند و دونالد<sup>۲</sup> (۱۹۹۵) نیز علت توقف جوانه‌زنی در دمای حداکثر، می‌تواند تغییر پروتئین‌های ضروری جوانه‌زنی باشد. گزارش‌های متعدد حاکی از اثر

<sup>3</sup> Bannayan<sup>4</sup> Mwale<sup>5</sup> Latifi<sup>1</sup> Kamaha and Magure<sup>2</sup> Copeland and McDonald

هانگ<sup>۵</sup> و همکاران (۱۹۹۱) مشخص شد که طول ریشه‌چه گندم با افزایش دما افزایش یافته و در ۲۵ درجه سلسیوس به حداکثر خود رسیده و با افزایش دما از این مقدار طول ریشه‌چه کاهش می‌یابد. در آزمایشی که روی جوانه‌زنی خرفه انجام شد مشاهده گردید که طول ریشه‌چه با افزایش دما به‌طور معنی‌داری افزایش نشان داد ولی طول ساقه‌چه تحت تأثیر افزایش دما قرار نگرفت (رحیمی و کافی، ۲۰۱۰).

### تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر

کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی بذر گوآر به سطوح مختلف دما با استفاده از چهار تابع دوتکه‌ای، لجستیک، چندجمله‌ای درجه دو و درجه سه صورت گرفت. مدل رگرسیون چندجمله‌ای درجه دو براساس ضریب تبیین ( $R^2$ ) و میزان انحراف، برازش مناسب و معنی‌داری با داده‌های مربوط به سرعت جوانه‌زنی در مقابل متغیر مستقل دما داشت. بر اساس پارامترهای مدل مذکور دمای بهینه جوانه‌زنی گوآر، ۲۶/۰۵ درجه سلسیوس بدست آمد و دمای حداقل و حداکثر جوانه‌زنی گوآر به ترتیب ۶/۰۹ و ۴۰ درجه سلسیوس محاسبه شد (جدول ۴).

با توجه به گزارش هاشمی<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۷) به منظور تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر مارگریت از دو مدل دوتکه‌ای و چندجمله‌ای درجه دو استفاده شد که با توجه به نتایج حاصل از این دو مدل، دمای پایه، بهینه و بیشینه مارگریت به ترتیب (۱ تا ۳ درجه سلسیوس)، (۱۹ تا ۲۳ درجه سلسیوس) و (۴۳ تا ۵۹ درجه سلسیوس) است و براساس ضرایب رگرسیونی، ضریب تبیین و میزان انحراف مدل دوتکه‌ای نسبت به مدل چندجمله‌ای درجه دو بهتر بود و پیش‌بینی مناسب‌تری را نسبت به مدل درجه دو دارد.

بالندری و همکاران (۲۰۱۱) برای تخمین درجه حرارت‌های کاردینال بذرهای کاسنی پاکوتاه از سه مدل خطوط متقاطع، چندجمله‌ای درجه دوم و پنج پارامتری بتا استفاده نمودند که براساس تخمین این سه مدل، مقادیر درجه حرارت‌های کمینه (پایه)، بهینه (مطلوب)

۳۰ درجه سلسیوس گزارش شد و با افزایش و کاهش دما از این محدوده حرارتی درصد جوانه‌زنی بذر کاهش یافت (قنبری<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). تأثیر منفی دماهای بالا بر جوانه‌زنی بذر گیاهان توسط دیگر محققین نیز گزارش شده است (علی<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۸).

### تأثیر دما بر رشد گیاهچه

نتایج تأثیر سطوح مختلف دما بر رشد گیاهچه گوآر نشان داد که تأثیر دما بر سه مؤلفه طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه بذر معنی‌دار ( $P < 0.01$ ) شد (جدول ۲) به‌طوری‌که کمترین مقادیر مربوط به طول گیاهچه، ساقه‌چه و ریشه‌چه در دماهای ۵، ۱۰ و ۴۰ درجه سلسیوس مشاهده گردید، بیشترین طول گیاهچه و ساقه‌چه در دمای ۳۰ درجه سلسیوس بود ولی مقادیر طول گیاهچه و ساقه‌چه در بازه دمایی ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس تفاوت معنی‌داری نداشت و بیشترین طول ریشه‌چه نیز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بدست آمد که در بازه دمایی ۲۰ تا ۳۵ درجه سلسیوس از نظر طول ریشه‌چه اختلاف معنی‌داری وجود نداشت در واقع مقادیر مربوط به مؤلفه‌های رشد گیاهچه در دماهای ۵ و ۱۰ درجه سلسیوس صفر بود که با افزایش دما بر این مقادیر افزوده شد تا به حداکثر مقدار خود رسید و بعد از آن با افزایش دما این مقادیر کاهش پیدا کرد تا در دمای ۴۰ درجه سلسیوس صفر شد (جدول ۳).

علی‌پور و محمودی<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) گزارش کردند که طول ریشه‌چه و ساقه‌چه عدس‌الملک با افزایش دما افزایش یافت و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به حداکثر مقدار خود رسید و با افزایش دما از این مقدار طول ریشه‌چه و ساقه‌چه کاهش یافت. طول ریشه‌چه آفتابگردان نیز با افزایش دما از ۱۰ درجه سلسیوس افزایش یافت و بیشترین مقدار آن از دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سلسیوس بدست آمد. با افزایش دما از ۳۰ تا ۴۰ درجه سلسیوس طول ریشه‌چه روند کاهشی پیدا کرد. حداکثر طول ساقه‌چه آفتابگردان نیز در دمای ۲۵ درجه سلسیوس بدست آمد (سیلر<sup>۴</sup>، ۱۹۹۸). طی تحقیق

<sup>1</sup> Ghanbari

<sup>2</sup> Ali

<sup>3</sup> Alipoor and Mahmoodi

<sup>4</sup> Seiler

<sup>5</sup> Huang

<sup>6</sup> Hashemi

جدول ۲. تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

Table 2. Analysis of variance of the studied traits

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی df	طول گیاهچه Seedling length	طول ساقه‌چه plumule length	طول ریشه‌چه Radicle length	سرعت جوانه‌زنی روزانه DGS	متوسط جوانه‌زنی روزانه MDG	جوانه‌زنی نهایی Final germination
دما Temperature	7	160.14**	63.85**	26.45**	0.000217*	0.854*	103.36*
خطا Error	32	6.7437	3.8144	2.5913	0.000065	0.2830	34.240
ضریب تغییرات (%) C.V. (%)		23.6	23.65	22.89	6.47	6.61	6.61
انحراف معیار Standard Deviation		12.25	7.12	4.54	2.68	0.26	1.04

\* و \*\* به ترتیب بیانگر تفاوت‌های معنی‌داری در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

\* and \*\* indicate significant differences in the probability level of 5, 1%, respectively.

جدول ۳. مقایسه میانگین تیمارهای مختلف در صفات مورد بررسی

Table 3. Comparison of the mean of different treatments in the studied traits

دما (درجه سلسیوس) Temperature (°C)	طول گیاهچه (میلی‌متر) Seedling length (mm)	طول ساقه‌چه (میلی‌متر) Plumule length (mm)	طول ریشه‌چه (میلی‌متر) Radicle length (mm)	سرعت جوانه‌زنی روزانه (بذر در روز) DGS	متوسط جوانه‌زنی روزانه (بذر در روز) MDG	جوانه‌زنی نهایی Final germination
5	0.000 <sup>d</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>d</sup>	0.000 <sup>d</sup>
10	0.000 <sup>d</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>d</sup>	0.000 <sup>d</sup>
15	2.524 <sup>c</sup>	2.524 <sup>b</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.5304 <sup>a</sup>	1.8908 <sup>c</sup>	20.8 <sup>c</sup>
20	7.928 <sup>b</sup>	4.132 <sup>b</sup>	3.796 <sup>a</sup>	0.526 <sup>a</sup>	1.909 <sup>bc</sup>	21 <sup>bc</sup>
25	13.602 <sup>a</sup>	8.074 <sup>a</sup>	5.527 <sup>a</sup>	0.4784 <sup>b</sup>	2.091 <sup>ab</sup>	23 <sup>ab</sup>
30	15.700 <sup>a</sup>	10.420 <sup>a</sup>	5.280 <sup>a</sup>	0.4888 <sup>ab</sup>	2.0546 <sup>abc</sup>	22.6 <sup>abc</sup>
35	15.240 <sup>a</sup>	10.160 <sup>a</sup>	5.080 <sup>a</sup>	0.476 <sup>b</sup>	2.1092 <sup>a</sup>	23.2 <sup>a</sup>
40	0.000 <sup>d</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>b</sup>	0.000 <sup>c</sup>	0.000 <sup>d</sup>	0.000 <sup>d</sup>

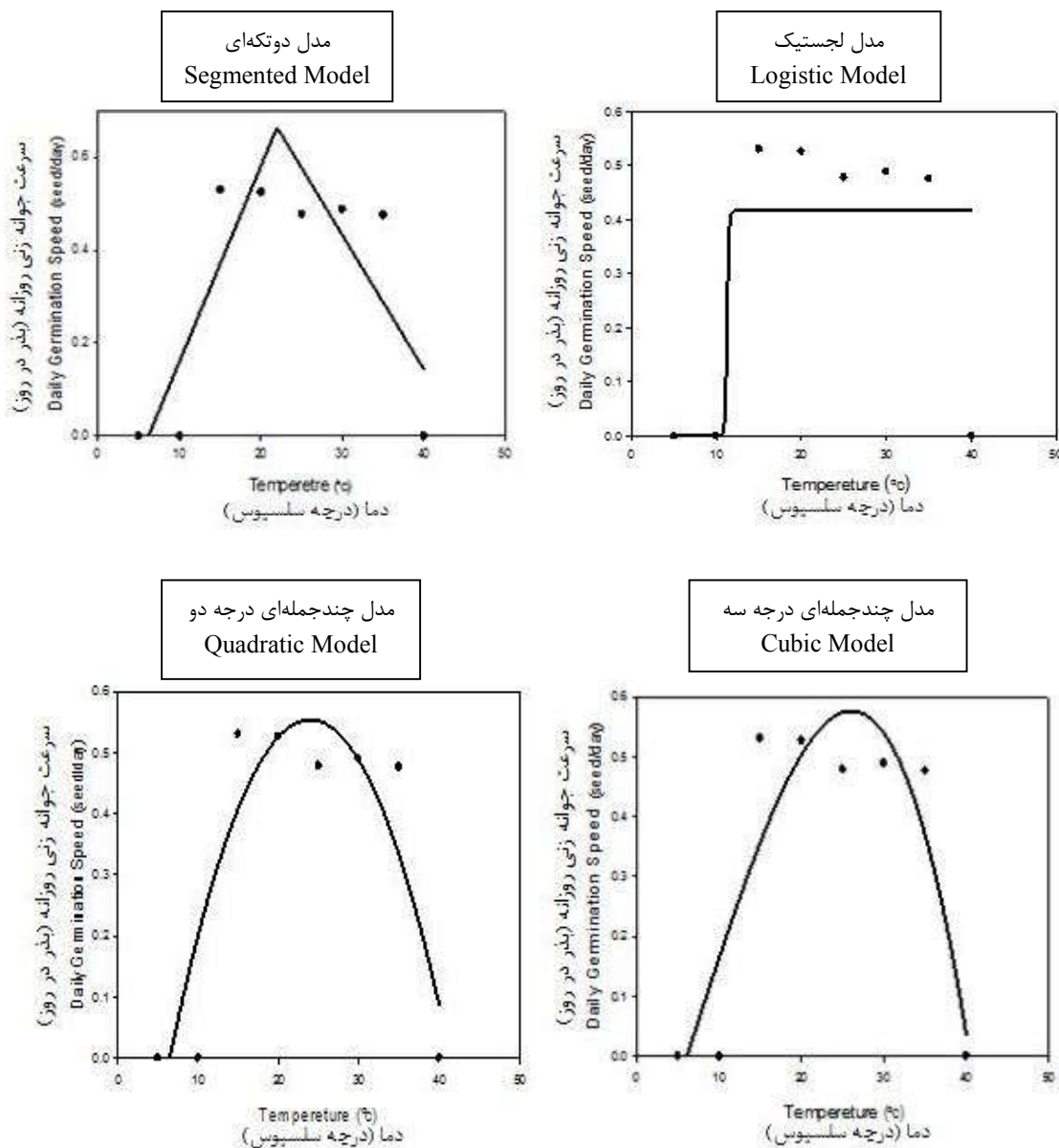
داده مشابه در هر ستون در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری در آزمون چنددامنه‌ای دانکن ندارند.

Similar numbers in each column in the probability level of 5% have no significant difference in the Duncan multi-domain test.

جدول ۴. مقادیر دماهای کاردینال بذر گوار براساس مدل‌های برازش داده شده

Table 4. The values of cardinal temperatures of Guar seeds based on the fitted models

مدل (Model)	Tb (°C) دمای پایه	To (°C) دمای مطلوب	Tc (°C) دمای سقف	R <sup>2</sup> (ضریب تبیین)
لجستیک Logistic	10.60	12.10	-	0.37
دوتکه‌ای Segmented	6.36	22.08	44	0.53
درجه دو Quadratic	6.50	23.86	41	0.70
درجه سه Cubic	6.09	26.05	40	0.68



شکل ۱. پاسخ سرعت جوانه‌زنی به سطوح مختلف دمایی براساس مدل‌های برازش داده شده

Fig. 1. The response of the germination rate to different temperature levels based on the fitted models

۲۲ تا ۲۲/۶ و بیشینه بین ۳۹/۰ تا ۴۰/۵ درجه سلسیوس در هر سه مدل متغیر بود.

### نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده اثر دما بر شاخص‌های جوانه‌زنی بذر و رشد گیاهچه گوآر معنی‌دار بود. به طوری که حداکثر درصد، سرعت و متوسط جوانه‌زنی به ترتیب در دماهای ۳۵، ۱۵ و ۳۵ درجه سلسیوس و حداکثر طول گیاهچه، ریشه‌چه و ساقه‌چه به ترتیب در دماهای ۳۰، ۲۵ و ۳۰ درجه سلسیوس مشاهده شد. مدل

بیشینه (حداکثر) به ترتیب در دامنه‌های ۲/۶۷ - ۰/۰۹، ۲۸/۶۰ - ۲۱/۷۸ و ۴۱/۶۶ - ۴۰/۰۰ درجه سلسیوس به دست آمدند و همچنین بیان نمودند که مدل‌های چندجمله‌ای درجه دوم و پنج پارامتری بتا، مناسب‌تر هستند. همچنین خیرخواه<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۱) از سه مدل خطوط متقاطع، ۵ پارامتری بتا و چندجمله‌ای برای برآورد دمای کاردینال کاکوتی چندساله استفاده نموده و گزارش دادند که دماهای پایه بین ۵ تا ۵/۸، بهینه بین

<sup>۱</sup> Kheirkhah



دمای پایه، بهینه و دمای حداکثر برای جوانه‌زنی بذر در این گیاه به ترتیب ۶/۰۹، ۲۶/۰۵ و ۴۰ درجه سلسیوس بدست آمد.

رگرسیون چندجمله‌ای درجه دو بر اساس ضریب تبیین ( $R^2$ ) و میزان انحراف، برازش مناسب و معنی‌داری با داده‌های مربوط به سرعت جوانه‌زنی در مقابل متغیر مستقل دما داشت. بر اساس پارامترهای مدل مذکور

## منابع

- Adam, N.R., Dierig, D.A., Coffelt, T.A. and Wintermeyer, M.J. 2007. Cardinal temperatures for germination and early growth of two *Lesquerella* species. *Industrial Crops and Products*, 25: 24-33. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2006.06.001>
- 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].
- Ali, A.A., Mohamed, M.H., Kamel, M.S., Fouad, M.A. and Spring, O. 1998. Studies on *Securiger securidacea* L. Deg. et Dorfl. (Fabaceae) seeds, and antidiabetic Egyptian folk medicine. *Die Pharmazie*, 53(10): 510-715.
- Alipoor, Z. and Mahmoodi, S. 2016. Determination of cardinal temperatures and response of *Securigera securidaca* L. to different temperatures of germination. *Iranian Journal of Seed Research*, 2(2): 137-147. [In Persian with English Summary].
- Alvarado, V. and K. Bradford, 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant, Cell and Environment*, 25(8): 1061-1069. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2002.00894.x>
- Balandari, A., Rezvani-Moqaddam, P. and Nasiri-Mahallati, M. 2011. Determination of cardinal temperatures of seed germination of *Cichorium pumilum* Jacq. Second National Conference of Seed Science and Technology, Islamic Azad University, Mashhad, 4-5 November, 1818-1822.
- Bannayan, M., Nadjafi, F., Rastgoo M. and L. Tabrizi, 2006. Germination properties of some wild medicinal plants from Iran. *Seed Technology*, 28: 80-86. [In Persian with English Summary].
- Blackshow, R.E. 1991. Soil temperature and moisture effects on downy brome Vs. winter canola, wheat and ray emergence. *Crop Science*, 31: 1034-1040. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100040038x>
- Bradford, K.J. and A.M. Haigh, 1994. Relationship between accumulated hydrothermal time during seed priming and subsequent seed germination rates. *Seed Science Research*, 4(02): 63-69. <https://doi.org/10.1017/S0960258500002038>
- Colbach, N., Chauvel, B., Durr, C. and Richard, G. 2002. Effect of environmental conditions on *Alopecurus myosuroides* germination. I. Effect of temperature and light. *Weed Research*, 42(3): 210-221. <https://doi.org/10.1046/j.0043-1737.2002.00279.x> ; <https://doi.org/10.1046/j.0043-1737.2002.00280.x>
- Condon, A.G., Richards R.A. and Farquhar, G.D. 2002. Relationships between carbon isotope discrimination, water use efficiency and transpiration efficiency for dryland wheat. *Australian Journal of Agriculture Research*, 44: 1693-1711. <https://doi.org/10.1071/AR9931693>
- Copeland, L.O. and Mc-Donald, M.B. 1995. *Principles of Seed Science and Technology*. 4th (ed.). Publication Chapman and Hall, USA. 409P.
- Ghaderi-Far, F., Soltani A. and Sadeghipour, H.R. 2008. Cardinal temperatures of germination medicinal pumokin, borago and black cumin. *Asian Journal of Plant Science*, 7: 574-578. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.3923/ajps.2008.574.578>

- Ghanbari, A., Rahimian-Mashhadi, H., Nasiri-Mahallati, M., Kaffi, M. and Rastgu, M. 2005. The ecophysiological aspects of *Glycyrrhiza glabra* L. in response to temperature. Iranian Journal of Agricultural Researches, 3(2): 263-275. [In Persian with English Summary].
- Gholami\_Tilebeni, H., Kurd-Firozjaei, Gh. and Zeinal, E. 2011. The determination of germination cardinal temperatures of rice cultivars. Seed Science and Technology, 1(1): 41-52. [In Persian with English Summary].
- Gulzar, S., Khan M.A. and Ungar, L.A. 2008. Effect of salinity and temperature on the germination of *Urochondra setulosa* (Trin). Seed Science and Technology, 29(1): 21-29.
- Hardegree, S. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. Annals of Botany, 97(6): 1115-1125. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl071>
- Hardegree, S.P. and A.H. Winstral, 2006. Predicting germination response to temperature. II. Three dimensional regression, statistical gridding and iterative-probit optimization using measured and interpolated-subpopulation data, Annals of Botany, 98: 403-410. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl112>
- Hashemi, A., Barooti, Sh. and Tavakkol-Afshari, R. 2017. Determine the cardinal temperatures of germination of *Chrysanthemum maximum* Ramond. Iranian Journal of Seed Science and Technology, (2): 77-84. [In Persian with English Summary].
- Huang, B.R., Taylor, H.M. and McMichael, B.L. 1991. Growth and development of seminal and crown roots of wheat seedlings as affected by temperature. Journal of Experimental Botany, 31(4): 471-477. [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(91\)90046-Q](https://doi.org/10.1016/0098-8472(91)90046-Q)
- Jacobsen, S.E. and A.P. Bach. 1998. The influence of temperature on seed germination rate in quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild). Seed Science and Technology, 26: 515-523.
- Jalilian, J. and Khaliliaqdam, N. 2014. Effects of alternative temperatures on germination rate of Rocket seed. Iranian Journal of Seed Research, 2(1): 127-133. [In Persian with English Summary].
- Jami Al-Ahmadi, M. and M. Kafi. 2007. Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.). Journal of Arid Environment, 68: 308-314. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.05.006>
- Jordan, G.L. and Haferkamp, M.R. 1989. Temperature responses and calculated heat units for germination of several range grasses and shrubs. Journal of Range Management, 42(1): 41-45. <https://doi.org/10.2307/3899656>
- Kamaha, C. and Magure, Y. 1992. Effect of temperature on germination of six winter wheat cultivars. Seed Science and Technology, 20(1): 181-185.
- Kamkar, B., Ahmadi, M., Soltani, A. and Zeinali, E. 2008. Evaluation non-linear regression models to describe a response of wheat emergence rate to temperature. Seed Science and Biotechnology, 2(2): 53-57. [In Persian with English Summary].
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., Mahdavi-Damghani, A. and F.J. Villalobos. 2012. Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of Opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germinate using non-linear regression models. Industrial Crops and Products, 35(1): 192-198. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2011.06.033>
- Kamkar, B., Koocheki, A., Nassiri Mahallati M. and Rezvani Moghaddam, P. 2006. Cardinal temperatures for germination in three millet species (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum* and *Setaria italica*). Asian Journal of Plant Science, 5: 316-319. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.3923/ajps.2006.316.319>

- Kebreab E. and Murdoch A.J. 2000. The effect of water stress on the temperature range for germination of *Orobancha aegyptiaca* seeds. *Seed Science Research*, 10: 127-133. <https://doi.org/10.1017/S0960258500000131>
- Khalili Aqdam, N. and Jalilian, J. 2015. Estimation of germination cardinal temperatures in cold and tropical Vetch. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 2(1): 37-43. [In Persian with English Summary].
- Khalili Aqdam, N., Mirmahmoodi, T. and Bakhshi khaniki, Gh. 2016. Estimation of cardinal temperatures of *Calendula officinalis* L. usage non-linear regression. *Journal of Seed Science and Technology*, 4: 12-25. [In Persian with English Summary].
- Khalili Aqdam, N., Mirmohammadi, T. and Sa'idian, Ch. 2017. Determination of critical temperature of linseed seed (*Linum usitatissimum* L.) by nonlinear regression. *Iranian Journal of Seed Research*, (2): 41-49. [In Persian with English Summary].
- Kheirkhah, M., Koocheki, A., Rezwani-Moqaddam, P. and Nasiri-Mahallati, M. 2011. The determination of germination cardinal temperature of *Ziziphora clinopodioides* Lam. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 11(4): 543-550. [In Persian with English Summary].
- Koocheki, A., Rashed -Mohassel, M.H., Nasiri-Mahallati, M. and Sadr-Abadi, R. 1988. *Physiological foundations of crop growth and development* (translation), Astan Qods Publications, 54-80. [In Persian].
- Koocheki, A., Nassiri Mahallati., M. and Rezvani Moghaddam, P. 2006. Cardinal temperatures for germination in three millet species (*Panicum miliaceum*, *Pennisetum glaucum* and *Setaria italica*). *Asian Journal of Plant Science*, 5. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.3923/ajps.2006.316.319>
- Latifi, N., Soltani A. and Spaner, D. 2004. Effect of temperature on germination components of rapeseed cultivars. *Iranian Journal of Agricultural Science*, 35(2): 313-321. [In Persian with English Summary].
- Lexmond, T.M. and Vandervorm, P.D.J. 1981. The effect of pH on copper toxicity to hydroponically grown maize. *NJAS Wageningen Journal of Life Sciences*, 29(3): 217-238. <https://doi.org/10.18174/njas.v29i3.17008>
- Maguire, J.D. 1962. Speed of germination- aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigour. *Journal of Crop Science*, 2(2): 176-177. <https://doi.org/10.2135/cropsci1962.0011183X000200020033x>
- Mahla, H.R., Kumar, D., Henry, A, Acharya, S. and Pahuja, S.K., 2010. Guar: Present status and future prospects in arid zone. *Journal of Arid Legumes*, 7(2): 1-5.
- Mahmoodi, A., Soltani, E. and Barani, H. 2008. Germination response to temperature in snail medic (*Medicago sativa* L.). *Electronic Journal of Crop Production*, 1: 54-63. [In Persian with English Summary].
- Majer, B.J., Tscherko, D. and Paschke, A. 2002. Effects of heavy metal contamination of soils on micronucleus induction in *Tradescantia* and on microbial enzyme activities: a comparative investigation. *Mutation Research*, 515: 111-124. [https://doi.org/10.1016/S1383-5718\(02\)00004-9](https://doi.org/10.1016/S1383-5718(02)00004-9)
- Mwale, S.S., Azam-Ali, S.N., Clark, J.A., Bradley, R.G. and Chatha, M.R. 1994. Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Seed Science and Technology*, 22(3): 565-571.
- Narigol, 2017. Guar, Juan12, 2017. from <https://narigol.com/blog/getting-to-know-go>.
- Nichols, M.A. and Heydecker, W. 1986. Two approaches to the study of germination date. *Proc. International Journal of Seed Test*, 33: 531-540.

- Oyedele, D., Asonugbo, C. and Awotoye, O. 2006. Heavy metals in soil and accumulation by edible vegetables after phosphate fertilizer application. *Agriculture Food Chemistry*, 5(4): 1446-1453.
- Poortooi, N., Rashed Mohassel M.H. and Izadi Darbandi, I. 2009. Determination of cardinal temperature of (*Chenopodium album*), (*Portulaca oleracea*), (*Digitaria sanguinalis*). *Iranian Journal of Agriculture Research*, 6(2): 255-261. [In Persian with English Summary].
- Pourreza, J. and Bahrani, A. 2012. Estimating cardinal temperatures of Milk thistle seed germination. *American-Eurasian Journal of Agricultural Environmental Science*, 12(8): 1030-1034. [In Persian with English Summary].
- Rahimi, Z. and Kaffi, M. 2010. Evaluation of cardinal temperatures and the effect of different temperature levels on germination indices of *Portulaca oleracea* L. *Journal of Plant Protection (Science and Technology of Agriculture)*, 24(1): 80-86. [In Persian with English Summary].
- Ramin, A.A. 1997. The influence of temperature on germination of Taree Irani (*Allium ampeloprasum* L. spp. *Iranicum* W.). *Seed Science and Technology*, 25(3): 419-426.
- Sabouri-Rad, S., Kafi, M., Nezami A. and Banayan-Avval, M. 2011. Estimation of minimum, optimum and maximum temperatures of *Kochia scoparia* using of beta five parametric model. *Agricultural Ecology*, 3(2): 191-197. [In Persian with English Summary].
- Seiler, G.J. 1998. Influence of temperature on primary and lateral root growth of sunflower seedlings. *Environmental and Experimental Botany*, 40(2): 135-146. [https://doi.org/10.1016/S0098-8472\(98\)00027-6](https://doi.org/10.1016/S0098-8472(98)00027-6)
- Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz M. and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as affected by temperature and sowing depth. *Agriculture and Forestry Meteorology*, 138: 156-167. [In Persian with English Summary]. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.04.004>
- Zainali, A., Soltani, A., Goleshi, S. and Sadati, S.J. 2010. Cardinal temperatures, reaction to temperature and range of temperature tolerance of seed germination in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Crop Production*, 3(3): 23-42. [In Persian with English Summary].

## Research Article

**Quantifying Guar (*Cyamopsis tetragonoloba*) Seed Germination Relative to Temperature**Seyyed Hamidreza Ramazani <sup>1, \*</sup>, Fariba Armoon <sup>2</sup>, Mohammad Ali Behdani <sup>3</sup>**Extended Abstract**

**Introduction:** Guar (*Cyamopsis tetragonoloba* L.) is a plant from the legumes family. Guar gum is obtained from endosperm in guar seeds. Guar gum is used in many industries such as pharmaceutical and food industries, paper, mining, oil and drilling, textiles, and explosives industries. Modeling is a method that is widely used in predicting plant growth stages and determining the required thermal units in each growing stage, especially germination.

Considering the important therapeutic and industrial uses of guar and the lack of sufficient information and reports to determine the cardinal temperatures of this plant, this study aimed to investigate the effect of temperature on germination traits and early seedling growth and predict the cardinal temperatures (minimum, optimal and maximum) of germination for this plant.

**Materials and Methods:** This research was carried out at the Seed Sciences and Technology Laboratory of Agricultural College of Sarayan, the University of Birjand in 2017. Experiments were carried out in a completely randomized design with 8 levels of temperature treatments (5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, and 40°C), with 5 replications. Germination percentage, daily germination speed, mean daily germination, plumule length, root length, and seedling length were calculated. Cardinal temperatures of germination were calculated using regression analysis with the aid of the proposed models (logistic, two-way, quadratic, and third-order polynomials) using germination speed. The data were analyzed using SAS software and the comparison means were done by Duncan's test at a probability level of 5%. Sigma Plot software was used to plot the germination rate against temperature graphs (for fitting different models).

**Results:** The results showed that the effect of different temperature levels on the percentage, speed and mean seed germination was significant ( $P < 0.05$ ). According to the results, the lowest values for percentage, speed, and average germination were obtained at 5, 10, and 40°C, and the highest germination speed was observed at 15 °C and also the highest percentage of germination and average germination was observed at 35°C. The results of the effect of different temperature levels on seedling growth showed that the effect of temperature on the seedling length, stem, and root length was significant ( $P < 0.01$ ), so that the lowest values related to seedling length, plumule and radicle was found at 5, 10 and 40°C, and the maximum seedling and plumule length were 30°C.

**Conclusion:** Quantification of the gauge seed germination reaction to different temperature levels was carried out using four dual-functions, logistic, quadratic and triple polynomials. The second-order multitasking regression model, based on the coefficient of explanation ( $R^2$ ) and the amount of deviation, had a suitable and significant fit with the data related to germination rate against the independent temperature variable. Based on the parameters of the model, the optimum temperature was obtained at 26.05°C and the minimum and maximum temperature of guar germination were calculated to be 6.09 and 40°C.

**Keywords:** Cardinal temperature, Cubic model, Germination rate, Gouar

**Highlights:**

- 1- Cardinal temperatures of guar seed germination were predicted.
- 2- Based on cardinal germination temperatures, the planting date of guar became predictable.

<sup>1</sup> Assistant Professor of Agriculture and Plant Breeding. Sarayan Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

<sup>2</sup> Master of Agriculture and Plant Breeding. Sarayan Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

<sup>3</sup> Professor of Department of Agriculture and Plant Breeding. Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran

\* Corresponding author, E-mail: [Hrramazani@birjand.ac.ir](mailto:Hrramazani@birjand.ac.ir)

