Journal of Vegetables Sciences
Vol 3, No 6, Autumn & Winter 2020, Pages (63-77)
DOI: 10.22034/iuvs.2020.114138.1066

دو فصلنامه علمی- پژوهشی علوم سبزی‌ها
سال ۳- شماره ۶- پاییز و زمستان ۱۳۹۸- صفحات (۷۷-۶۳)

ارزیابی ویژگی‌های جوانه‌زنی و تعیین دماهای کاردینال با استفاده از مدل‌های رگرسیونی در سبزی بومی چوچاق (*Eryngium caucasicum* Tratvu.)

الهام دانشفر[۱]، مجید عزیزی[۲*] و حسین آرویی[۳]

۱- دانشجوی دکتری علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۲- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
۳- دانشیار گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسنده مسئول: azizi@um.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۳۰- تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۱/۰۶)

چکیده

چوچاق (*Eryngium caucasicum* Tratvu.) از گیاهان بومی ایران با کاربرد سبزی- دارویی است که مطالعات اندکی در زمینه شناخت رفتارهای جوانه‌زنی آن صورت گرفته است. مطالعه بر روی اهلی‌سازی و تکثیر آن می‌تواند گامی مهم در راستای حفظ و تجاری‌سازی آن به‌شمار رود. جهت ارزیابی تأثیر درجه حرارت بر شاخص‌های جوانه‌زنی چوچاق، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی با هشت سطح دمایی (۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد) در سه تکرار در آزمایشگاه فیزیولوژی گروه علوم باغبانی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۵ انجام شد. به‌منظور کمی‌سازی جوانه‌زنی و تعیین بهینه‌بودن برازش مدل‌های مختلف جوانه‌زنی از مدل‌های آماری خطوط متقاطع و مدل چند جمله‌ای درجه دو و از شاخص ضریب تبیین (R^2) برای مقایسه مدل‌ها استفاده شد. نتایج نشان داد که جوانه‌زنی چوچاق در گستره‌ی دمایی ۲۵-۱۰ درجه‌ی سانتی‌گراد صورت می‌گیرد. مناسب‌ترین یکنواختی جوانه‌زنی در دامنه‌ی دمایی ۲۰-۱۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد با احراز بالاترین میزان جوانه‌زنی (۸۸/۳۳ درصد)، انرژی جوانه‌زنی (۹۲/۵ درصد)، زمان تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی (۷/۷ روز) به‌عنوان مناسب‌ترین تیمار انتخاب شد. با ارزیابی دو مدل برازش، مدل چند جمله‌ای درجه دو توانست توصیف بهتری از واکنش سرعت جوانه‌زنی چوچاق نسبت به دما ارائه دهد. در این مدل، دمای مطلوب، حداقل و حداکثر جوانه‌زنی به‌ترتیب ۱۵/۳۳، ۰/۸۵ و ۲۹/۸۱ درجه سانتی‌گراد تخمین زده شد. یافته‌های به‌دست آمده این تحقیق می‌تواند در پیش‌بینی جوانه‌زنی گیاه چوچاق در عکس‌العمل به دما و نیز مدیریت این گیاه به‌عنوان سبزی فصل خنک مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: اهلی‌سازی، چوچاق، دمای کاردینال، سرعت جوانه‌زنی، مدل‌های رگرسیونی.

مقدمه

کشور پهناور ایران از تنوع اقلیمی و زیستی خوبی برخوردار است و پس از ترکیه بیشترین تنوع گیاهی را در خاورمیانه به خود اختصاص داده است (Farahmand & Nazari, 2015). در این میان، چوچاق (*Eryngium caucasicum Tratvu.*) یکی از گونه‌هایی که توجه کمتری به آن شده است. چوچاق از گیاهان چند ساله‌ی بومی منطقه‌ی شمال ایران است که به‌عنوان سبزی معطر کاربرد فراوانی دارد (Khoshbakht, 2007) و تاکنون مطالعات

اندکی روی جنبه‌های مختلف فیزیولوژی این گیاه از جمله نحوه تکثیر و جوانه‌زنی بذر آن انجام شده است. با در نظر گرفتن این موارد که تکثیر این گیاه در طبیعت به‌صورت پاجوش و ریزش بذر از گیاه می‌باشد و با توجه به رویشگاه محدود این گونه که تنها در حوزه کوچکی از شمال کشور گزارش شده است؛ می‌توان با مطالعه بر روی اهلی‌سازی و تکثیر آن، گام مهمی در راستای حفظ و تجاری‌سازی آن برداشت. به‌دلیل محدودیت دسترسی به این گیاه در تمام فصول و نیز سختی جمع‌آوری بذر آن از طبیعت، لازم است تا نیازهای جوانه‌زنی گیاه با هدف تسهیل در کشت و کار زراعی آن مورد بررسی قرار گرفته و شناسایی شوند. زیرا اولین قدم در شناخت رفتارهای رشدی گیاهان، نحوه‌ی جوانه‌زنی گیاه است. در چرخه‌ی زندگی گیاهان مرحله‌ی جوانه‌زنی بذر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این مرحله در استقرار مطلوب و عملکرد نهایی، عامل مهم و تعیین‌کننده‌ای به‌شمار می‌رود (Durr *et al*., 2015). ضمن این‌که در بحث اهلی‌سازی و کشت گیاهان بومی، اطلاع از نحوه جوانه‌زنی بذر به‌منظور استقرار موفق و مطلوب گیاهان ضرورت دارد. زیرا اغلب گیاهان دارویی برداشت شده از عرصه‌های طبیعی، نسبت به گونه‌های زراعی و اصلاح شده به‌مدت زمان بیشتری برای جوانه‌زنی نیاز دارند (Kheirkhah *et al*., 2011). با در نظر گرفتن نیازهای خاص هر گونه برای جوانه‌زنی، آگاهی از رفتار جوانه‌زنی بذور در طی فرآیند اهلی‌سازی گونه‌های وحشی که دسترسی به منبع بذری آنها مشکل و نیازهای جوانه‌زنی آنها ناشناخته می‌باشد، ضروری است زیرا توانایی پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی نقش حیاتی در استقرار گیاه را دارد (Kurtar, 2010). در حالت کلی، اگر بذر از لحاظ رطوبت و اکسیژن کمبودی نداشته باشد، خصوصیات جوانه‌زنی بذر از جمله سرعت، درصد و حتی متوسط زمان جوانه‌زنی توسط دما تعیین می‌شود (Jami Al-Ahmadi *et al*., 2016). دامنه دمایی جوانه‌زنی می‌تواند در توزیع جغرافیایی گونه‌ها و تعیین تاریخ کشت مناسب نقشی تعیین‌کننده داشته باشد (Taghvaei *et al*., 2015).

تاریخ کاشت به‌عنوان یک عامل مدیریتی مهم در استفاده بهینه از شرایط محیطی در جهت بهبود تولید محصول، شناخته شده است. فاصله گرفتن از زمان مناسب کشت، با تأثیر بر طول مراحل نمو و تجمع ماده خشک، باعث کاهش عملکرد می‌شود. دماهای کاردینال می‌تواند به تعیین مناسب‌ترین تاریخ و محدوده جغرافیایی کشت کمک کند (Mosavi *et al*., 2012). دمای حداقل، مطلوب و حداکثر جوانه‌زنی به ارزیابی ویژگی‌های جوانه‌زنی و تعیین دماهای کاردینال با استفاده از مدل‌های رگرسیونی در سبزی بومی چوچاق به‌ترتیب ۵/۶، ۳۰/۱ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود. دمای حداقل جوانه‌زنی برای گیاه خرفه پنج، دمای بهینه‌ی آن ۴۵-۱۵ و دمای حداکثر آن ۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد تعیین شد (Rahimi & Kafi, 2010).

دماهای کاردینال از ورودی‌های اصلی بسیاری از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان هستند که در پیش‌بینی زمان تا وقوع مراحل فنولوژیکی کاربرد دارند (Kamkar *et al*., 2012). اثر متقابل دمای محیط و جوانه‌زنی از عوامل اصلی در پیش‌بینی زمان جوانه‌زنی و به‌ویژه مدل‌سازی است (Khaliliaqdam *et al*., 2017). امتیاز این توابع این است که پارامترهای این مدل‌ها دارای مفهوم زیستی هستند و می‌توان از آنها در جهت تعیین دماهای کاردینال استفاده کرد (Jami Al-Ahmadi *et al*., 2016).

در کاسنی پاکوتاه (*Cichorium pumilum* Jacq.) بر اساس سه مدل پنج پارامتری بتا، خطوط

متقاطع و چند جمله‌ای درجه دوم، مقادیر درجه حرارت‌های پایه، مطلوب و حداکثر بیان شد (Balandari *et al*., 2011). دمای مطلوب، حداقل و حداکثر جوانه‌زنی توده‌های ریحان (*Ocimum basilicum* L.) بر اساس نتایج رگرسیون خطی در دامنه‌ی ۳/۵-۱، ۲۴/۷-۲۷/۸ و ۴۲/۸-۴۵/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد گزارش شد (Fazli Kakhki *et al*., 2016).

دمای بهینه جوانه‌زنی بذر، به ژنتیک گیاه (Jamian *et al*., 2014) و شرایط اقلیمی که گیاه در آن رشد و نمو می‌کند، بستگی دارد (Huang *et al*., 2016). مطالعه خصوصیات جوانه‌زنی و بیولوژی بذر از مطالعات پایه و اولیه اهلی‌کردن گیاهان به‌شمار می‌رود (Cristaudo *et al*., 2019) و از آنجا که جوانه‌زنی از بحرانی‌ترین مراحل در استقرار گیاهچه است و اهمیت زیادی در تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح دارد، لذا آگاهی از خصوصیات جوانه‌زنی بذر در پاسخ به تغییرات درجه حرارت می‌تواند مفید باشد.

تاکنون بررسی چندانی بر نحوه‌ی جوانه‌زنی گیاه چوچاق صورت نگرفته است. در مطالعه‌ای تأثیر دما و روشنایی متناوب در جوانه‌زنی چهار توده چوچاق مورد بررسی قرار گرفت و بهترین دما بین ۱۰ تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد در تناوب روشنایی/تاریکی گزارش شد (Rezvani & Zefarian, 2017). به‌دلیل نبود گزارشی در ارتباط با دماهای کاردینال این گیاه و از طرفی با توجه به رویشگاه محدود این گونه و نبود اطلاعات کافی مرتبط با رفتار جوانه‌زنی آن، در رویشگاه طبیعی و همچنین اهمیت خوراکی و دارویی این گیاه در طب سنتی، این پژوهش با هدف شناسایی و تعیین مناسب‌ترین تیمار دمایی جهت جوانه‌زنی بذر در راستای اهلی‌سازی و معرفی گیاه چوچاق به‌عنوان سبزی معطر جدید انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی درجه حرارت بر شاخص‌های جوانه‌زنی و تعیین دمای کاردینال گیاه چوچاق، آزمایشی در آزمایشگاه فیزیولوژی گروه باغبانی دانشگاه فردوسی مشهد در قالب طرحی کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. تیمارهای دمایی شامل ۰، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه‌ی سانتی‌گراد در نظر گرفته شدند. بذرها طی شهریور ماه ۱۳۹۵ از منطقه کوهستانی فشکور از توابع شهرستان چالوس از تعداد ۱۰ بوته در مساحتی به وسعت ۱۰ مترمربع به‌صورت دستی برداشت شدند. بذرها ابتدا با محلول هیپوکلریت سدیم ۱۰ درصد ضدعفونی شده و سپس با آب مقطر شست‌وشو داده شدند و در پتری‌دیش‌های استریل به قطر نُه سانتی‌متر بر روی کاغذ صافی به تعداد ۲۰ عدد، قرار گرفتند. پتری‌دیش‌ها پس از اضافه‌کردن ۱۰ میلی‌لیتر آب مقطر، به ژرمیناتور (مدل Labcon-LT6C20.25) با دماهای مورد نظر و دوره‌ی نوری ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی با رطوبت نسبی ۵۰ درصد منتقل شدند. برای جلوگیری از تبخیر آب، پتری‌ها در داخل کیسه‌ی پلاستیکی قرار داده شدند. در طی آزمایش، بازدید از بذرها به‌صورت روزانه و در زمان معین صورت می‌گرفت و معیار بذور جوانه‌زده، خروج ریشه‌چه با اندازه‌ی دو میلی‌متر یا بیشتر بود.

بذرهای جوانه‌زده هر روز شمارش و شمارش تا سه روز تا زمانی‌که دیگر بذری جوانه نزد (حدود ۱۸ روز از شروع آزمایش)، ادامه یافت. در پایان آزمایش صفاتی از قبیل درصد، سرعت و متوسط زمان جوانه‌زنی محاسبه گردید.

برای محاسبه‌ی سرعت جوانه‌زنی از رابطه عکس زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی استفاده شد (Farooq *et al*., 2005).

رابطه(۱) $T_{50}=t_i+\left[\left(\frac{N}{2}-n_i\right)\times\left(t_j-t_i\right)\right]/(n_j-n_i)$

در این رابطه، N تعداد نهایی جوانه‌زنی، t_i زمان قبل از رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی، t_j زمان بعد از رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی نهایی، n_j تعداد تجمعی بذرهای جوانه‌زده و n_i تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز iام را نشان می‌دهد.

درصد جوانه‌زنی از طریق رابطه ۲ محاسبه شد.

رابطه (۲) $GP= nN\times10$

انرژی جوانه‌زنی مطابق رابطه ۳ حاصل شد.

رابطه (۳) $GE= MCGP/N\times100$

MCGP حداکثر درصد جوانه‌زنی تجمعی و N تعداد کل بذرهای کاشته شده می‌باشد.

متوسط زمان جوانه‌زنی بر اساس رابطه ۴ محاسبه شد.

رابطه (۴) $MGT= (\Sigma n_i\times d_i)/Nn_i$

MGT متوسط زمان جوانه‌زنی، n_i بذور جوانه‌زده روزهای شمارش، d_i روز شمارش و N کل بذور جوانه‌زده پس از ۱۴ روز می‌باشد (Adam *et al.*, 2007). یکنواختی جوانه‌زنی بذر نیز از تفاضل زمان رسیدن تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی و زمان رسیدن تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی به‌دست می‌آید (Seyyed Sharifi & Khavazi, 2012).

ارزش جوانه‌زنی بذور که به‌عنوان شاخصی ترکیبی از سرعت و مقدار کل بذور جوانه‌زده می‌باشد با رابطه ۵ محاسبه شد.

رابطه (۵) $GV= MDG\times PV$

MDG میانگین جوانه‌زنی روزانه بوده و از تقسیم درصد جوانه‌زنی کل بر مدت زمان دوره آزمایش به‌دست آمد. PV حداکثر درصد جوانه‌زنی می‌باشد.

رابطه (۶) $PV= MCGP/T$

رابطه (۷) $MDG= GP/T$

MCGP حداکثر درصد جوانه‌زنی تجمعی، T طول دوره‌ی جوانه‌زنی بر حسب روز (Noorhosseini *et al.*, 2016).

به‌منظور محاسبه‌ی دمای کاردینال و کمی‌سازی سرعت جوانه‌زنی نسبت به دما در بذر چوچاق از دو مدل خطوط متقاطع (ISL: Intersected Lines Model) و مدل چند جمله‌ای درجه دو (QPN: Quadratic Polynomial Model) استفاده شد. محور x به‌عنوان متغیر مستقل (دما) و محور y (سرعت جوانه‌زنی) به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شدند. در مدل دو جمله‌ای درجه دوم دمای اپتیمم از مشتق معادله و درجه حرارت ماکزیمم و پایه با استفاده از ریشه‌های معادله به‌دست آمدند (Jami Al- Ahmadi & Kafi, 2007).

رابطه (۷)

$f=$ if $T\leq T_0$, region 1 (T), region 2 (T)

Region 1 (T)= b (T-Tb)

Region 2 (T)= c (Tm-T)

در این معادله، f سرعت جوانه‌زنی (عکس زمان تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی)، T درجه حرارت (درجه‌ی سانتی‌گراد)، T_b، T_0 و T_m به‌ترتیب درجه حرارت‌های حداقل، مطلوب و حداکثر می‌باشند.

مدل چند جمله‌ای درجه‌ی دو (Tabrizi Raeini *et al.*, 2008).

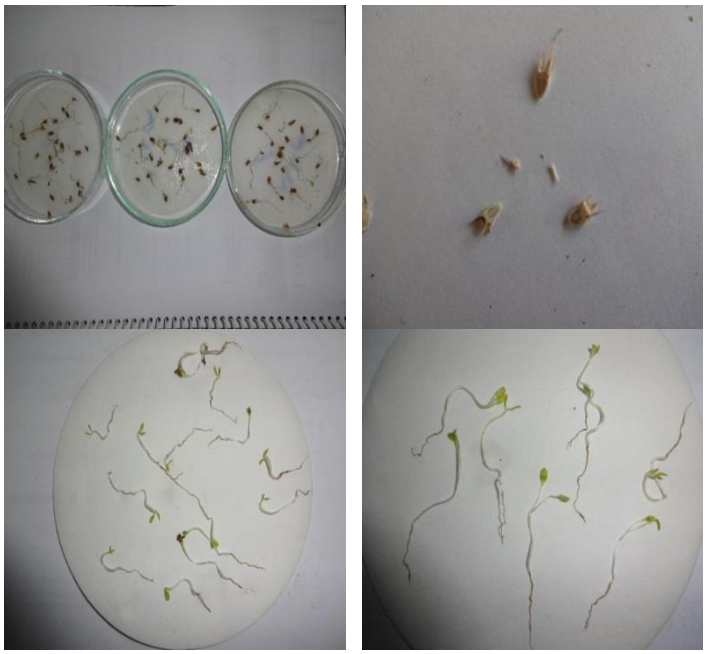
رابطه (۸) $f= a+bT+cT^2$

رابطه (۹) $T_0= b+2cT$

در این معادلات a، b و c ضرایب رگرسیون، T درجه حرارت (بر حسب سانتی‌گراد) و T_0 درجه حرارت مطلوب را نشان می‌دهد.

جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۱ و Slidewrite و برای رسم شکل‌ها از Excel و جهت مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون دانکن در سطح احتمال یک درصد استفاده شد.

شکل ۱- مراحل مختلف رشد (گلدهی، تکمیل رشد گل‌آذین و تشکیل بذر) گیاه چوچاق



شکل ۲- جوانه‌زنی بذرها، رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه در بذرهای تحت تیمار در گیاه چوچاق

نتایج

تأثیر تیمارهای حرارتی بر صفات جوانه‌زنی بذر چوچاق

از بین خصوصیات جوانه‌زنی، درصد جوانه‌زنی با شدت بیشتری تحت تأثیر تیمارهای دمایی اعمال شده قرار گرفت. بیشترین درصد جوانه‌زنی به تیمار دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد (۸۸ درصد) اختصاص داشت. تیمار دمایی۲۰ درجه سانتی‌گراد با مقدار عددی ۷۸ درصد، در رتبه‌ی بعدی قرار گرفت. کمترین میزان درصد جوانه‌زنی نیز به تیمارهای

پنج و ۳۰ درجه سانتی‌گراد اختصاص یافت که این دو، از نظر آماری تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند. با کاهش دما به کمتر از ۱۵ درجه و افزایش دما به بیشتر از ۲۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی به‌طور معنی‌داری کاهش پیدا کرد. افزایش درجه حرارت به بیش از ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد سبب افت شدید درصد جوانه‌زنی و در نهایت مهار کامل جوانه‌زنی بذر چوچاق گردید. نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که بالاترین درصد نهایی جوانه‌زنی در دامنه‌ی دمایی ۱۰ الی ۲۰ درجه به‌دست آمد. در دماهای بالاتر (به‌ویژه دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد) و پایین‌تر از محدوده ۱۰ الی ۲۰ درجه، درصد جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (جدول ۱).

کاهش درصد نهایی جوانه‌زنی در درجه حرارت‌های بالا در اثر ایجاد تغییر در پروتئین‌های ضروری جوانه‌زنی و نیز زوال بذر رخ می‌دهد (Hardegree & Winstral, 2006) و در نتیجه، میزان درصد جوانه‌زنی کاهش یافته و به‌تدریج به صفر می‌رسد. از طرف دیگر به‌دلیل افزایش سرعت تنفس در دماهای بالا، ذخیره‌ی ATP و کربوهیدارت بذر با سرعت بیشتری مصرف می‌شود (Loka & Oosterhuis, 2010). بهترین دمای جوانه‌زنی چوچاق ۱۵ درجه سانتی‌گراد تعیین شد و مشخص شد که دمای بالاتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد، شرایط مناسبی را برای جوانه‌زنی فراهم نمی‌کند (Rezvani & Zaefarian, 2017). در مرزه (*Satureja hortensis* L.) نیز مشاهده شد که با افزایش دما تا دمای مطلوب، درصد و سرعت جوانه‌زنی افزایش و با افزایش دما، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت (Khalili *et al*., 2015). روند مشابهی در گل جعفری (*Chrysanthemum maximum* Ramond.) مشاهده شد؛ بدین صورت که افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد، افزایش در درصد جوانه‌زنی را در پی داشت (Hashemi *et al*., 2016).

با افزایش دما به بالاتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد روند نزولی در جوانه‌زنی مشاهده شد؛ به‌طوری‌که درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۵ و ۳۰ درجه به‌ترتیب ۳۲ و ۶۵ درصد نسبت به دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، کاهش نشان داد. بر اساس نتایج به‌دست آمده به‌نظر می‌رسد که سازگاری فرآیند جوانه‌زنی در بذر چوچاق نسبت به دماهای پایین، بیشتر از دماهای بالا باشد (جدول ۱).

سرعت جوانه‌زنی

بالاترین سرعت جوانه‌زنی بذر در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. تیمارهای دمایی ۱۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد در رتبه بعدی قرار گرفتند. این دو تیمار دمایی هر چند با یکدیگر تفاوت معنی‌داری را نشان ندادند اما با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، تفاوت معنی‌داری داشتند. جوانه‌زنی سریع‌تری (متوسط زمان جوانه‌زنی کمتر) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد به‌وقوع پیوست و تفاوت معنی‌داری را نشان داد اما در این دما در مقایسه با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، بذرهای کمتری جوانه زدند. با افزایش دما از صفر به سمت ۲۵ درجه سانتی‌گراد، سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت اما با افزایش بیشتر دما، سیر کاهشی در سرعت جوانه‌زنی مشاهده شد. در جدول ۱ مشاهده گردید که در دامنه‌ی حرارتی ۱۵ تا ۲۵ درجه‌ی سانتی‌گراد، بالاترین سرعت جوانه‌زنی روی داد. در این گستره‌ی دمایی، دمای ۱۵ درجه‌ی سانتی‌گراد بیشترین سرعت جوانه‌زنی را نشان داد که اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد با سایر تیمارها داشت. دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد در رتبه بعدی قرار گرفتند (جدول ۱).

با توجه به نتایج، می‌توان گزارش داد که روند

تغییرات سرعت جوانه‌زنی رابطه‌ی مستقیمی با تغییرات دما داشت (جدول ۱). گزارشات متعدد حاکی از اثر مثبت افزایش درجه حرارت تا نقطه‌ای خاص بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور می‌باشد (Gholami-Tilebandi *et al*., 2012; Hadi *et al*., 2012). مطالعه‌ی تأثیر دما در ماشک (*Vicia* sp.) نشان می‌دهد که دما تأثیر معنی‌داری بر درصد و سرعت جوانه‌زنی می‌گذارد (Khalili Aghdam & Jalilian, 2015). نتایج مطالعه‌ی Najafi و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد که دامنه‌ی تغییرات حداکثر سرعت جوانه‌زنی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در دامنه‌ی دمایی ۲۰ تا ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد قرار دارد. دماهای بالاتر از حد بهینه، علاوه بر کاهش سرعت جوانه‌زنی سبب زوال بذر نیز می‌شوند (Hardegree & Winstral, 2006). مطالعات نشان می‌دهند که به‌طور معمول با افزایش دما، سرعت جوانه‌زنی در یک دامنه‌ی دمایی مناسب به‌طور خطی افزایش می‌یابد اما با افزایش دما، افت شدیدی در سرعت و درصد جوانه‌زنی مشاهده می‌گردد. در دمای بالاتر از دمای مطلوب، سرعت جوانه‌زنی به‌صورت خطی و به‌طور معمول با شیبی بیشتر در مقایسه با شیب خط رگرسیون دماهای کمتر از دمای مطلوب، کاهش می‌یابد (Mahmoodi *et al*., 2008). گزارش شده است که دما می‌تواند بر روی صفات جوانه‌زنی ماریتیغال (*Silybum marianum* L.) اثرگذار باشد. با افزایش دما از دمای پایه به سمت دمای مطلوب، سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت. در پی افزایش بیشتر دما، سرعت جوانه‌زنی به‌صورت خطی رو به کاهش گذاشت (Heydari *et al*., 2014). نتایج تحقیق حاضر مطابق با نتایج حاصل از مطالعات فوق‌الذکر می‌باشد. تفاوت واکنش گیاه در مؤلفه‌های جوانه‌زنی به دماهای مختلف می‌تواند به‌دلیل افزایش فعالیت آنزیم‌ها با افزایش دما در محدوده‌ی مطلوب باشد. افزایش بیشتر دما با افزایش تنفس و کاهش ذخیره بذر (Azimi *et al*., 2014) و تغییرات مخرب بر ساختار پروتئین‌های ضروری به کاهش و در نهایت توقف جوانه‌زنی منتهی می‌گردد. در دماهای پایین نیز متابولیسم سلولی و در پی آن، جوانه‌رنی کاهش می‌یابد (Tolyat *et al*., 2014). حرارت‌های بالاتر از دمای بهنیه در زمان آماس می‌تواند از ورود بذر به مرحله جوانه‌زنی جلوگیری کند. این افزایش دما باعث تحریک بیوسنتز اسید آبسزیک و بازدارندگی بیوسنتز جیبرلین می‌شود (Nonogaki *et al*., 2010). باید در نظر داشت که سرعت جوانه‌زنی که در بحث استقرار از اهمیت بالاتری برخوردار است (Amiri Monfared *et al*., 2018)، نیز در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد اتفاق افتاد که در تطابق با بالاترین درصد نهایی جوانه‌زنی می‌باشد (جدول ۱). این ویژگی در رسیدن به تراکم مطلوب دارای اهمیت است. قابلیت جوانه‌زنی چوچاق در دامنه دمایی ۳۰-۱۰ درجه سانتی‌گراد، بیانگر سازگاری مطلوب این گیاه با شرایط متفاوت در محیط‌های طبیعی و زراعی است. در موردی مشابه، توانایی جوانه‌زنی کاسنی در دامنه دمایی ۴۰-۳ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان قابلیت بقای این گیاه وحشی در محیط‌های مختلف عنوان شده است (Balandari *et al*., 2011).

متوسط زمان جوانه‌زنی

در صفت متوسط زمان جوانه‌زنی نیز تیمار دمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد نسبت به سایر تیمارها برتری نشان داد (جدول ۱). نتایج جدول مقایسه میانگین دادها نشان داد که بیشترین مقدار عددی مرتبط با صفت متوسط زمان جوانه‌زنی به تیمار حرارتی ۳۰ درجه (۱/۲۵۰) تعلق داشت. برای متوسط زمان جوانه‌زنی تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای حرارتی ۱۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد وجود نداشت اما از آنجا

که دماهای ۲۵، ۲۰ و ۱۰ درجه سانتی‌گراد از نظر صفت‌های درصد و سرعت جوانه‌زنی قدرت رقابت با دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد را نداشتند (جدول ۱)، بنابراین دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان دمای مناسب جوانه‌زنی گیاه چوچاق معرفی نمی‌گردد. زمان رسیدن به درصد مشخصی از جوانه‌زنی عامل مهمی در واکنش جوانه‌زنی بذرها نسبت به عوامل و تنش‌های محیطی است. دمای نامناسب، زمان لازم جهت جوانه‌زنی بذر را افزایش می‌دهد (Dorry *et al*., 2014).

باید در نظر داشت که متوسط زمان جوانه‌زنی (مدت زمان سپری‌شده برای آن که نیمی از بذور جوانه بزنند) شاخصی از سرعت جوانه‌زنی است و به‌عنوان معیاری از یکنواختی جوانه‌زنی مطرح می‌باشد؛ بنابراین کم‌بودن این شاخص در جوانه‌زنی اهمیت دارد و نشان‌دهنده کیفیت خوب بذر و همزمانی جوانه‌زنی است (Alipoor & Mahmodi, 2015). زیرا جوانه‌زنی سریع، احتمال خروج به‌موقع ریشه‌چه از بذر و استقرار بهتر گیاهچه را افزایش می‌دهد (Souri *et al*., 2017).

جدول ۱- مقایسه میانگین تیمار دمایی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر چوچاق

دما (درجه سانتی‌گراد)	درصد جوانه‌زنی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (در روز)	متوسط زمان جوانه‌زنی	میانگین جوانه‌زنی روزانه	حداکثر جوانه‌زنی تجمعی (درصد)
۰	۰/۰۰^{f}	۰/۰۰^{e}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{f}
۵	۱۶/۶۷^{e}	۲۲/۵۰^{c}	۰/۴۰^{c}	۰/۶۱^{a}	۶/۹۸^{d}
۱۰	۶۱/۶۷^{c}	۳۴/۸۰^{b}	۰/۷۸^{b}	۰/۶۴^{a}	۱۰/۱۰^{b}
۱۵	۸۸/۳۳^{a}	۴۳/۰۰^{a}	۰/۶۹^{bc}	۰/۶۴^{a}	۱۱/۵۶^{a}
۲۰	۷۸/۳۳^{b}	۳۲/۲۹^{b}	۰/۶۱^{bc}	۰/۴۲^{b}	۸/۵۴^{c}
۲۵	۵۶/۶۷^{d}	۲۳/۸۰^{c}	۰/۶۳^{bc}	۰/۴۰^{b}	۶/۴۶^{d}
۳۰	۱۳/۳۳^{e}	۶/۰۰^{d}	۱/۲۵^{a}	۰/۲۸^{c}	۱/۶۷^{e}
۳۵	۰/۰۰^{f}	۰/۰۰^{e}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{f}

در هر ستون، میانگین‌هایی با حروف مشترک، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

زمان تا ۱۰، ۵۰ و ۹۰ درصد جوانه‌زنی و یکنواختی جوانه‌زنی

در ارزیابی صفت یکنواختی جوانه‌زنی بذر، بین دماهای ۵، ۱۰ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌دار دیده نشد (جدول ۲). بالاترین یکنواختی جوانه‌زنی نیز در تیمار دمایی ۱۵ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد که در این صفت، تفاوت معنی‌داری با دماهای ۱۰ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده نشد. اما دماهای مذکور، به‌دلیل تفاوت معنی‌داری که در صفت درصد جوانه‌زنی با دمای ۱۵ درجه نشان داده‌اند، نمی‌توان آنها را به‌عنوان دمای مناسب جوانه‌زنی چوچاق انتخاب کرد (جدول ۲).

عدد کوچک‌تر در شاخص یکنواختی جوانه‌زنی، حاکی از جوانه‌زنی همزمان بذرها و یکنواختی بیشتر است. جوانه‌زنی غیریکنواخت خطر مواجه‌شدن بذر با بیماری‌های خاک‌زی و آفت‌ها را افزایش داده و سبب کاهش استقرار تراکم مناسب گیاه می‌شود (Gholami Tilebandi *et al*., 2012). با رجوع به جدول مقایسه میانگین داده‌ها در صفت یکنواختی جوانه‌زنی مشاهده شد که دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد هر چند مقدار یکنواختی کمتری (مقدار عددی بزرگتر) را نشان داد اما از آنجا که دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد از درصد، سرعت و انرژی

جوانه‌زنی بالاتری نسبت به دو دمای دیگر برخوردار بود، بنابراین دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد به‌عنوان تیمار حرارتی مطلوب جهت جوانه‌زنی بذر گیاه چوچاق انتخاب گشت (جدول ۲).

بیان شده است که بذور گیاهان اهلی جوانه‌زنی سریع‌تر و همزمان دارند و این امر سبب یکنواختی بیشتر در رسیدن محصول به هنگام برداشت می‌شود. در حالی‌که در گیاهان وحشی به‌علت خواب بذر و پوسته سخت بذر، جوانه‌زنی با تأخیر و غیریکنواخت صورت می‌گیرد (Rojas-Arechiaga *et al*., 2001).

انرژی جوانه‌زنی

در بررسی مقایسه میانگین مرتبط با شاخص انرژی جوانه‌زنی، تفاوت معنی‌داری بین تیمارها مشاهده شد؛ به‌طوری‌که تیمار ۱۵ درجه سانتی‌گراد از بالاترین مقدار انرژی جوانه‌زنی برخوردار بود و با افزایش و یا کاهش دما از دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد، از انرژی جوانه‌زنی کاسته شد (جدول ۲).

کاهش در انرژی جوانه‌زنی می‌تواند به‌دلیل صرف انرژی در ساخت مواد آلی تنظیم‌کننده‌ی اسمزی در بافت مرتبط باشد (Roumani & Ehteshami, 2014). احتمال می‌رود که کاهش انرژی جوانه‌زنی در دمای پایین ناشی از تولید و تجمع رادیکال‌های آزاد اکسیژن از جمله سوپراکسید و رادیکال‌های هیدروکسیل در بذر در اثر سرما باشد. وجود رادیکال‌های فعال موجب آسیب رساندن به DNA سلول‌ها و در نتیجه باعث کاهش جوانه‌زنی و تأخیر در رشد گیاه می‌شود (Hasagawa *et al*., 2000). گزارش شده است که با کاهش دما به دماهای پایین‌تر از دمای مطلوب، انعطاف‌پذیری آنزیم‌ها برای انجام واکنش به اندازه کافی نیست (Lashkari *et al*., 2014).

جدول ۲- مقایسه میانگین تیمار دمایی بر خصوصیات جوانه‌زنی بذر چوچاق

دما (درجه سانتی‌گراد)	روز تا جوانه‌زنی	روز تا ۱۰ درصد جوانه‌زنی	روز تا ۵۰ درصد جوانه‌زنی	روز تا ۹۰ درصد جوانه‌زنی	یکنواختی جوانه‌زنی (روز)	انرژی جوانه‌زنی (درصد)
۰	۰/۰۰^{b}	۰/۰۰^{c}	۰/۰۰^{d}	/۰۰^{d}	۰/۰۰^{c}	۰/۰۰^{f}
۵	۱۸/۰^{a}	۱۸/۸۳^{a}	۲۱/۸۳^{b}	۲۶/۵۰^{b}	۷/۷۷^{a}	۵۵/۸۳^{d}
۱۰	۱۸/۰^{a}	۲۰/۰۰^{a}	۲۳/۳۳^{ab}	۲۸/۰۰^{a}	۸/۰۰^{a}	۸۰/۸۳^{b}
۱۵	۱۷/۰^{a}	۲۱/۰۰^{a}	۲۴/۱۷^{a}	۲۸/۱۷^{a}	۷/۱۷^{a}	۹۲/۵۰^{a}
۲۰	۱۷/۰^{a}	۸/۱۷^{b}	۱۰/۱۷^{c}	۱۲/۱۷^{c}	۴/۰۰^{b}	۶۸/۳۳^{c}
۲۵	۱۸/۰^{a}	۸/۰۰^{b}	۱۰/۰۰^{c}	۱۲/۵۰^{c}	۴/۵۰^{b}	۵۱/۶۷^{d}
۳۰	۱۹/۵^{a}	۸/۵۰^{b}	۱۰/۳۳^{c}	۱۳/۳۳^{c}	۴/۸۳^{b}	۱۳/۳۳^{c}
۳۵	۰/۰۰^{b}	۰/۰۰^{c}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{d}	۰/۰۰^{c}	۰/۰۰^{f}

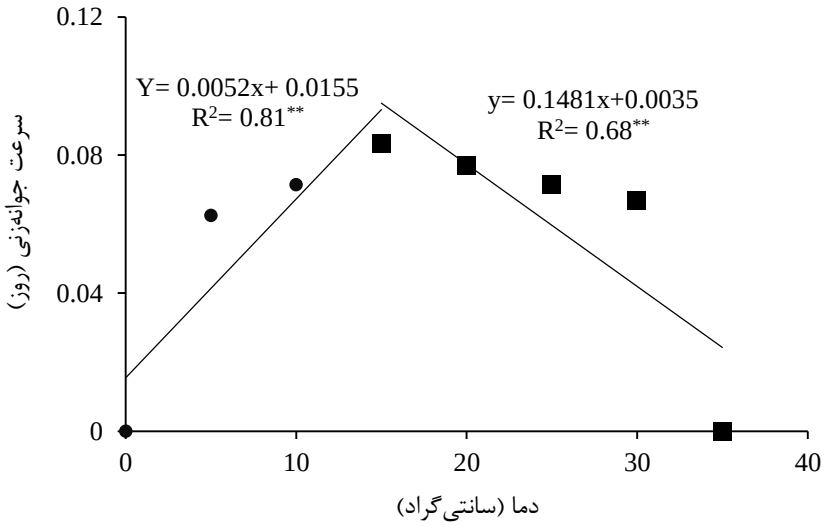
در هر ستون، میانگین‌هایی با حروف مشترک، بیانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ درصد بر اساس آزمون دانکن می‌باشد.

تعیین دماهای کاردینال

نتایج به‌دست آمده از مدل چند جمله‌ای درجه دو بیانگر این بود که دمای حداقل، مطلوب و حداکثر برای جوانه‌زنی این گیاه به‌ترتیب ۰/۸۵، ۱۵/۳۳ و ۲۹/۸۱ درجه‌ی سانتی‌گراد است (شکل ۴). در مدل چند جمله‌ای درجه دوم نقطه رسیدن به حداکثر منحنی به‌عنوان دمای بهینه انتخاب شد.

در مـدل خطوط متقاطع، نقطه‌ی تلاقی دو خط

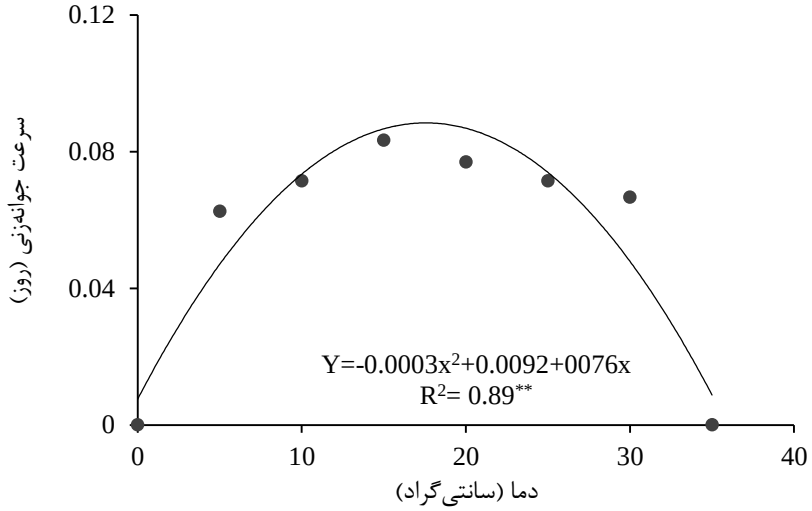
رگرسیون به‌عنوان دمای مطلوب و محل تلاقی امتداد خطوط رگرسیون اول و دوم با محور دما به‌ترتیب دمای پایه و دمای حداکثر در نظر گرفته می‌شود (Mahmoodi *et al*., 2008). با توجه به این مدل، دمای بهینه (محل برخورد خطوط رگرسیون) برای این گیاه ۱۸/۸۰ درجه سانتی‌گراد خواهد بود. دمای حداقل ۲/۹۸ و دمای حداکثر ۴۲/۳۱ درجه سانتی‌گراد برآورد شد (شکل ۳).



شکل ۳- تأثیر درجه حرارت‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی بذر چوچاق بر اساس بردازش مدل خطوط متقاطع (LSL)

در ارتباط با دمای کاردینال این گیاه، مشاهده شد که ضریب تبیین رابطه خطی بین مقدار شبیه‌سازی شده و مقادیر مشاهده شده در مدل چند جمله‌ای درجه دو و مدل خطوط متقاطع، به‌ترتیب ۰/۸۹ و ۰/۶۸ درجه سانتی‌گراد برآورد شد که بیانگر برتری و اعتبار بالاتر مدل چند جمله‌ای درجه دو برای سبزی چوچاق بود. با توجه به نتایج به‌دست آمده از این مدل، دمای مطلوب جوانه‌زنی ۱۵/۳۳ درجه‌ی سانتی‌گراد به‌دست آمد (شکل‌های ۳ و ۴). بالا بودن ضریب تبیین از جمله شاخص‌های مهم در تعیین کارایی مدل به‌حساب می‌آید (Khaliliaqdam *et al*., 2017). مطالعه جوانه‌زنی تعدادی از علف‌های هرز نشان داد که معادلات خطی با ضریب تبیین ۸۵ درصد، به‌طور شایسته‌ای بیانگر رابطه جوانه‌زنی و دما می‌باشند (Rawlins *et al*., 2012). شباهت شیب خط رگرسیون در دو مدل مطرح شده، بیانگر میزان تأثیرپذیری سرعت جوانه‌زنی در مقابل دما است که ناشی از واکنش‌پذیری فرآیند جوانه‌زنی بذر چوچاق در برابر تغییرات دمایی است که باعث می‌شود تا سرعت جوانه‌زنی با آهنگی مشابه، کاهش یا افزایش یابد. این واکنش در گیاه ارشته خطایی (*Lepyrodiclis holosteoides* Fenzl.) نیز گزارش شد و حاکی از توانمندی جوانه‌زنی گیاه در دامنه وسیعی از تغییرات دمایی است (Deihimfard *et al*., 2018). نوسانات سرعت جوانه‌زنی بذور در دماهای مختلف، به واکنش متفاوت آنها به گرما ارتباط داده شده است. در دماهای پایین، پروتئین و آنزیم‌ها برای تطابق با تغییرات مورد نیاز جهت واکنش به‌مقدار کافی انعطاف‌پذیر نیستند. با افزایش دما فعالیت آنزیم‌ها افزایش می‌یابد و در پی آن، سرعت جوانه‌زنی نیز بالا می‌رود. از طرفی، دماهای خیلی

بالا باعث غیرفعال شدن برخی آنزیم‌ها می‌شود، بنابراین سرعت واکنش‌ها کاهش می‌یابد. به همین دلیل جوانه‌زنی به درجه حرارت حداقل، بهینه و حداکثر بستگی دارد (Bonhomme, 2000). مدل‌های متداول کاربردی در توصیف پاسخ حرارتی جوانه‌زنی، مبتنی بر دماهای کاردینال می‌باشند. این مدل‌ها به‌ویژه در ایجاد شاخص‌هایی برای مقایسه پاسخ سرعت نسبی جوانه‌زنی نسبت به دما و فرآیندهای فیزیولوژیکی، کارایی دارند. از این‌رو می‌توان از مدل‌های مرتبط در پیش‌بینی مناسب‌ترین دمای کاشت، بهره جست (Derakhshan *et al*., 2014). به‌طور کلی، تعیین دمای کاردینال می‌تواند در تعیین تاریخ کاشت گونه‌های گیاهی و حتی در معرفی گونه‌های جدید به یک منطقه و همچنین در پیش‌بینی سایر مراحل بعدی رشد و توسعه مفید واقع شود (Rahimi & Kafi, 2010). این امر به‌ویژه در گیاهان بومی با مطالعات محدود، می‌تواند راه‌گشا باشد.



شکل ۴- تأثیر درجه حرارت‌های مختلف بر سرعت جوانه‌زنی بذر چوچاق بر اساس برداز‌ش مدل چند جمله‌ای درجه دو

با توجه به نتایج حاصل، مشاهده شد که جوانه‌زنی گیاه چوچاق در گستره‌ی دمایی ۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت و دمای بهینه جوانه‌زنی بین ۱۵ الی ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. با مقایسه کارآمدی دو مدل به‌کار برد شده، به‌نظر می‌رسد در بین دو مدل برازش شده، مدل چند جمله‌ای درجه دو، مدل مناسب‌تری برای بذرهای گیاه چوچاق باشد. با در نظر گرفتن این نکته که دماهای حداقل، بهینه و حداکثر رشد گیاهان به‌طور معمول پنج درجه سانتی‌گراد بیشتر از دماهای کاردینال جوانه‌زنی است (Hatfield & Prueger, 2015)، می‌توان چوچاق را به‌عنوان گیاهی فصل خنک معرفی کرد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که با افزایش دما تا محدوده ۲۰-۱۵ درجه سانتی‌گراد، سرعت و درصد جوانه‌زنی مناسب است اما با افزایش بیشتر دما، از مقدار هر دو مؤلفه کاسته می‌شود. مدل چند جمله‌ای درجه دو نسبت به مدل خطوط متقاطع قادر به برآورد بهتر دماهای

کاردینال جوانه‌زنی بذر چوچاق است. یافته حاضر حاکی از تطابق نتایج با رفتار بوم‌شناختی این گیاه در طبیعت است که رشد بهتری را طی بهار و اوایل تابستان دارد. ضمن این‌که گستردگی بازه‌ی دمای جوانه‌زنی چوچاق نشان می‌دهد که سبزی مذکور قادر است تا در دامنه‌ی وسیعی از دماها، قدرت جوانه‌زنی خود را حفظ کند. جوانه‌زنی در گستره‌ی دمایی متفاوت در کنار سرعت جوانه‌زنی بالا، ویژگی مطلوبی است که در روند اهلی‌سازی اهمیت زیادی دارد و می‌تواند به استقرار بهتر گیاه در محیط جدید و تطابق آن با شرایط کشت، منتهی گردد. بنابراین تکثیر بذری از اقدامات اولیه جهت احیای رویشگاه، استقرار و اهلی‌سازی گونه بومی چوچاق می‌باشد. علاوه بر این، با افزایش آگاهی از رفتار جوانه‌زنی گیاه چوچاق، می‌توان آن را به عرصه‌ی کشاورزی به‌عنوان سبزی برگی جدید، معرفی کرد.

Reference

- Adam, N. R., Dierig, D. A., Coffelt, T. A., Wintermeyer, M. J., Mackey, B. E. & Wall, G. W. (2007). Cardinal temperatures for germination and early growth of two Lesquerella species. *Industrial Crops and Products*, 25(1), 24-33.
- Al-Ahmadi, M. J. & Kafi, M. (2007). Cardinal temperatures for germination of (*Kochia scoparia* L.). *Journal of Arid Environments*, 68(2), 308-314.
- Alipoor, Z. & Mahmodi, S. (2015). Effect of different temperature on germination properties of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.), cannabis (*Cannabis sativa* L.) and sesame (*Sesamus indicum* L.). *Iranian Journal of Seed Research*, 2(1), 37-51. (In Farsi)
- Amiri Monfared, V., Hashemi, A., Mamedi, A. & Tavakkol Afshari, R. (2018). Evaluation of germination characteristics and determination of cardinal temperatures of poppy (*Papaver somniferum*) seed. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 6(2), 229-239. (In Farsi)
- Azimi, R., Khajeh-Hosseinim, M. & Falahpor, F. (2014). Evaluation of seed germination features of *Bromus kopetdaghensis* Drobov. under different temperature. *Journal of Range and Watershed Management*, 67(2), 253-261. (In Farsi)
- Balandari, A., Rezvani Moghaddam, P. & Nassiri Mahallati, M. (2011). Cardinal temperatures for seed germination of *Cichorium pumilum* Jacq. *Second Congress of Seed Science and Technology*, Mashhad, Iran. (In Farsi)
- Bonhomme, R. (2000). Bases and limits to using degree day units. *European Journal of Agronomy*, 13(1), 1-10.
- Cristaudo, A., Catara, S., Mingo, A., Restuccia, A. & Onofri, A. (2019). Temperature and storage time strongly affect the germination success of perennial Euphorbia species in Mediterranean regions. *Ecology and Evolution*, 9(19), 10984-10999.
- Deihimfard, R., Nazari, S. & Qorani. Y. (2018). Estimation of cardinal temperatures of *Lepyrodiclis holosteoides* using regression models. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 6(2), 107-117. (In Farsi)
- Derakhshan, A., Gherekhloo, J. & Paravar, E. (2014). Estimation of cardinal temperatures and thermal time requirement for *Cyperus difformis* seed germination. *Journal of Weed Science*, 9, 27-38. (In Farsi)
- Dorri, M. A., Kamkar, B., Aghdasi, M. & Komshikamar, E. (2014). Determination of the best model to evaluate germination cardinal temperature of *Silybum*

marianum as a medicinal plant. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 3(2), 189-200. (In Farsi)
- Durr, C., Dickie, J. B., Yang, X. Y. & Pritchard, H. W. (2015). Ranges of critical temperature and water potential values for the germination of species worldwide: contribution to a seed trait database. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, 222-232.
- Farahmand, H. & Nazari, F. (2015). Environmental and anthropogenic pressures on geophytes of Iran and the possible protection strategies: a review. *Horticultural Science Technology*, 2, 111-132.
- Farooq, M., Basra, S. M. A., Hafeez, K. & Ahmad, N. (2005). Thermal hardening: a new seed vigor enhancement tool in rice. *Acta Botaniuca Sinica*, 47, 187-192.
- Fazli Kakhki, S. F., Moshfegh, N. & Goldani, M. (2016). Determination of cardinal temperatures and responses to temperature for seed germination in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Plant Production Technology*, 15(2), 1-11. (In Farsi)
- Gholami-Tilebandi, H., Salehi-Balashahri, M. & Farhadi, R. (2012). Effects of priming and seed aging on germination and seedling growth of (*Oryza sativa* L.). *Seed Science and Technology*, 1, 1-13. (In Farsi)
- Hadi, N., Souri, M. K. & Omidbeigi, R. (2012). Effect of stratification and gibberellic acid pretreatments on seed germination of hyacinth, pyrethrum and celandine medicinal herbs. *Journal of Horticultural Science*, 25(4), 397-403. (In Farsi)
- Hardegree, S. P. & Winstral, A. H. (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(2), 403-410.
- Hasagawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J. K. & Bohner, H. J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51, 463-499.
- Hashemi, A., Baroti, S. & Tavakkol Afshari, R. (2016). Determination of cardinal temperature of Marigold (*Chrysanthemum maximum* Ramond.). *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 5(2), 77-84. (In Farsi)
- Hatfield, J. L. & Prueger, J. H. (2015). Temperature extremes: effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4-10.
- Heidari, Z., Kamkar, B. & Sinaki, M. (2014). Determination of cardinal temperatures of milk thistle (*Silybum marinum* L.) germination. *Advances in Plants & Agriculture Research*, 1(5), 172-178.
- Huang, Z., Liu, S., Bradford, K. J., Huxman, T. E. & Venable, D. L. (2016). The contribution of germination functional traits to population dynamics of a desert plant community. *Ecology*, 97(1), 250-261.
- Jami Al-Ahmadi, M., Niromand Tomaj, A. & Zangoei, M. (2016). Cardinal temperatures for germination of (*Lathyrus sativus* L.). *Seed Ecophysiology*, 1(1), 43-56.
- Kamkar, B., Al-Alahmadi, M. J., Mahdavi-Damghani, A. & Villalobos, F. J. (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.

- Khalili Aghdam, N. & Jalilian, J. (2015). Estimation of germination cardinal temperature in cold and tropical Vetch. *Iranian Journal of Seed Science and Research*, 2(1), 37-43. (In Farsi)
- Khalili, N., Kamkar, B. & Khodabakhshi, A. H. (2015). Quantification and analysis of savory seed's germination reactions to temperature and salt stress. *Environmental Stresses in Crop Science*, 8(1), 83-92. (In Farsi)
- Khaliliaqdam, N., Mir-Mahmoodi, T. & Bakhshi Khaniki, G. (2017). The Estimation of cardinal temperatures in common marigold (*Calendula officinalis* L.). *Iranian Journal of Seed Science and Technology*Engwa, G. A. (2018). Free radicals and the role of plant phytochemicals as antioxidants against oxidative stress-related diseases. In *Phytochemicals-Source of Antioxidants and Role in Disease Prevention*, 47-49 6(1), 39-48. (In Farsi)
- Kheirkhah, M., Kocheki, A., Rezwani-Moqaddam, P. & Nasiri-Mahallati, M. (2011). The determination of germination cardinal temperature of *Ziziphora clinopodioides* Lam. *Iran Journal of Field Crops Research*, 11(4), 543-550. (In Farsi)
- Khoshbakht, K., Hammer, K. & Pistrick, K. (2007). *Eryngium caucasicum* Trautv. cultivated as a vegetable in the Elburz Mountains (Northern Iran). *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54(2), 445-448.
- Kurtar, E. S. (2010). Modeling the effect of temperature on seed germination in some cucurbits. *African Journal of Biotechnology*, 9(9), 1343-1353.
- Lashkari, A., Moghaddam, P. R. & Ghafori, A. A. (2014). Estimation of cardinal cemperatures of (*Echium amoenum*) with application of regression models. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(2), 164-169. (In Farsi)
- Loka, D. A. & Oosterhuis, D. M. (2010). Effect of high night temperatures on cotton respiration, ATP levels and carbohydrate content. *Environmental and Experimental Botany*, 68(3), 258-263.
- Mahmoodi, A., Soltani, E. & Barani, H. (2008). Germination response to temperature in snail medic (*Medicago sativa* L.). *Journal of Crop Production*, 1, 54-63.
- Mosavi, S. G. R., Segatoleslami, M. J. & Pooyan, M. (2012). Effect of planting date and plant density on yield and seed yield components of *Plantago ovata* L. *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 27(4), 681-699. (In Farsi)
- Nadjafi, F., Tabrizi, L., Shabahang, J. & Damghani, A. M. (2009). Cardinal germination temperatures of some medicinal plant species. *Seed Technology*, 31(2), 156-163.
- Nonogaki, H., Bassel G. W. & Bewley, J. D. (2010). Germination- still a mystery. *Plant Science*. 179, 574-581.
- Noorhosseini, S. A., Safarzadeh, M. N. & Sadeghi, S. M. (2016). Evaluation of energy, value and vigour of seed germination in peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Plant Researches*, 29(1), 221-234. (In Farsi)
- Rahimi, Z. & Kafi, M. (2010). Determination of cardinal temperatures and influence of different level of temperatures on seed germination's traits of purslane (*Portulaca oleracea*). *Journal of Plant Protection (Agricultural Sciences and Technology Journal)*, 4(1), 80-86. (In Farsi)
- Rawlins, J. K., Roundy, B. A., Davis, S. M. & Egget, D. (2012). Predicting germination in semi-arid wildland seedbeds. I. Thermal germination models. *Environmental and Experimental Botany*, 76, 60-67.

- Rezvani, M. & Zaefarian, F. (2017). Effect of some environmental factors on seed germination of *Eryngium caeruleum* M. Bieb. populations. *Acta Botanica Brasilica*, 31(2), 220-228.
- Rojas-Arechiaga, M., Casas, A. & Vazquez-Yanes, C. (2001). Seed germination of wild and cultivated *Stenocerevs stellatus* (Cactacea) from the Tehuacan-Cuicatlan Valley, Central Mexico. *Journal of Arid Environment*, 49(2), 279-287.
- Roumani, A. & Ehteshami, M. (2014). Effect of different levels of salinity stress on seed germination and early growth of fenugreek (*Trigonella foenum-greacum*) seedling. *Iranian Journal of Seed Research*, 1(1), 33-45. (In Farsi)
- Seyyed Sharifi, R. & Khavazi, K. (2012). Effect of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on germination components and seedling growth of corn (*Zea mays* L.). *Journal of Agroecology*, 3(4), 506-513. (In Farsi)
- Jamian, S. S., Asilan, K. S., Mehrani, S., Tabrizi, A. T. & Goharian, A. (2014). Effects of elevated temperatures on seed germination and seedling growth in three medicinal plants. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(4), 173-177.
- Souri, M. K., Arab, M. A., Tohidloo, G. H. & Kashi, A. K. (2017). Effect of some seed priming treatments on germination quality of artichoke (*Cynara scolymus*) seeds. *Iranian Journal of Seed Science and Technology*, 5(2), 85-94. (In Farsi)
- Tabrizi Raeini, L., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M. & Rezvani Moghaddam, P. (2008). Germination behavior of cultivated and natural stand seeds of khorasan thyme (*Thymus transcaspicus* Klokov.) with application of regression models. *Iranian Journal of Field Crop Research*, 5(2), 249-257. (In Farsi)
- Taghvaei, M., Sadeghi, H. & Khaef, N. (2015). Cardinal temperature for germination of the medicinal and desert plant (*Calotropis procera* L.). *Planta Daninha, Vicosa*, 33(4), 671-678.
- Tolyat, M. A., Afshari, R. T., Jahansoz, M. R., Nadjafi, F. & Naghdibadi, H. A. (2014). Determination of cardinal germination temperatures of two ecotypes of *Thymus daenensis* subsp. daenensis. *Seed Science and Technology*, 42(1), 28-35.