تعیین دماهای کاردینال و روز بیولوژیک جوانه‌زنی بذر چای‌ترش (*Hibiscus sabdariffa* L) با استفاده از مدل‌های دوتکه‌ای، دندان‌مانند و بتا

مهدی احمد یوسفی و مهدیه امیری‌نژاد
دانشجوی دکتری، فیزیولوژی گیاهان زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
استادیار گروه زراعت، دانشگاه جیرفت
*m.ahmadyousefi1@gmail.com

چکیده

به‌منظور تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر چای ترش، مطالعه‌ی آزمایشگاهی در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه جیرفت انجام شد. ارزیابی واکنش جوانه‌زنی در دماهای ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد انجام شد. بذرهای جوانه‌زده هر روز شمارش‌شده و سپس سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی محاسبه و دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر چای ترش بر اساس سه مدل رگرسیونی دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا محاسبه شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، اثر دما بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر چای ترش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. بیشترین سرعت جوانه‌زنی (عکس زمان تا رسیدن به دهک ۵۰ درصد جوانه‌زنی) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (۱/۴) مشاهده شد. بر اساس مدل‌های دندان مانند، دوتکه‌ای و بتا، دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر چای ترش در دمای پایه ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد، بهینه ۲۵ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد و بیشینه (۴۰ تا ۴۱ درجه سانتی‌گراد) تعیین شد. این ضرایب دمایی در مدل‌سازی جوانه‌زنی و تعیین تاریخ کاشت مطلوب اهمیت دارند. همچنین حداقل ساعت بیولوژیک موردنیاز برای جوانه‌زنی این گیاه در شرایط مطلوب معادل ۱۶/۰۸ تعیین شد.

کلمات کلیدی: درصد جوانه‌زنی، سرعت جوانه‌زنی، دمای بهینه، دمای پایه

مقدمه

چای ترش (*Hibiscus sabdariffa* L) یک گیاه دارویی متعلق به خانواده پنیرک است که از قدیم به‌عنوان دارو استفاده می‌شده و هم‌اکنون نیز به‌عنوان گیاه دارویی موردتوجه است (Aziz et al., 2007). بیش از ۳۰۰ گونه از این گیاه در سراسر جهان در مناطق گرمسیر و نیمه گرمسیر یافت می‌شود. زیستگاه اصلی این گیاه غرب آفریقا است و امروزه در سطح وسیعی در بسیاری از کشورهای گرمسیر دنیا ازجمله ایران به‌ویژه در استان‌های سیستان و بلوچستان و جیرفت و کهنوج در جنوب استان کرمان کشت می‌شود (Faraji and Tarkhani, 1999). طول رشد این گیاه ۸– ۴ ماه، بهترین شرایط برای جوانه‌زنی این گیاه ۳۵ – ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی می‌باشد (Duke., 1983). در صنعت داروسازی از گل و میوه گوشتی گیاه چای ترش برای تسکین علائم برونشیت و جلوگیری از ابتلاء به بسیاری از بیماری‌ها ازجمله فشارخون، کلسترول، قند خون، سرطان روده، سرطان پروستات و سلامت پوست استفاده می‌شود. کاسبرگ‌های آن برای درمان فشارخون بالا، اسهال، بیماری‌های دهان و ضد اسکوربیک (کمبود ویتامین C)، سوءهاضمه و بیماری‌های کبدی و قلبی کاربرد دارد (Chewonarin et al., 1999; Faraji and Tarkhani, 1999). همچنین کاسبرگ تازه آن برای سالاد، آشپزی با انواع آردها در پخت کیک، سوپ و پودرهای خوراکی مورداستفاده قرار می‌گیرد (Facciola., 1990). کاسبرگ دارای مقدار زیادی اسیدسیتریک و پکتین می‌باشد که برای درست کردن مربا و ژله مفید می‌باشد (Duke., 1983).

در بحث کشت گیاهان دارویی اطلاع از نحوه جوانه‌زنی بذر به‌منظور استقرار موفق و مطلوب گیاه ضرورت دارد، به‌ویژه این‌که اکثر گیاهان دارویی که از عرصه‌های طبیعی برداشت می‌شوند، نسبت به گونه‌های زراعی و اصلاح‌شده به مدت‌زمان بیشتری برای جوانه‌زنی نیاز دارند (Saha et al., 2008). این فرآیند تا حدود زیادی تحت تأثیر دما و رطوبت قرار می‌گیرد. بعد از آبگیری بذر، دما بحرانی‌ترین عاملی است که موفقیت یا عدم موفقیت در استقرار گیاه را تعیین می‌کند. به‌طورکلی اثر دما بر جوانه‌زنی برحسب دماهای کاردینال بیان می‌شود. دماهای کاردینال شامل سه دمای حداقل (Tb)، بهینه (To) و بیشینه (Tc) می‌باشند. دمای حداقل، کمترین دمایی است که در این دما و کمتر از آن سرعت جوانه‌زنی صفر است و درواقع جوانه‌زنی رخ نمی‌دهد. دمای بیشینه، نیز بیشترین دمایی است که در آن و بعدازآن

سرعت جوانه‌زنی صفر است و دمای بهینه‌دمایی است که در آن بیشترین سرعت جوانه‌زنی مشاهده می‌شود (Alvarado and Bradford., 2002; Koocheki et al., 2006; Ramin, A. A., 1997). از مدل‌های بتا، درجه دوم، منحنی، دندان مانند و دوتکه‌ای جهت توصیف رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما استفاده می‌شود که به‌منظور کمی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی می‌توان از این مدل‌ها استفاده نمود (Duke,1983). رابطه خطی بین دما و سرعت جوانه‌زنی در برخی گونه‌های گیاهی گزارش‌شده و عمدتاً محققان از رگرسیون خطی برای توصیف رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی استفاده می‌کنند (Kocabas., 1999). به‌عنوان یک قاعده کلی بذرهای مناطق معتدله در مقایسه با بذرهای مناطق گرمسیری به دماهای کمتری نیاز داشته و گونه‌های وحشی نیاز گرمائی کمتری از گیاهان اهلی دارند. دمای مناسب جوانه‌زنی برای اکثر بذرها بین ۱۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد است (Sohani., 1998). بهترین مدل در ارتباط با دمای کاردینال گیاه چای ترش مدل پنج پارامتری بتا بود و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از این مدل، می‌توان گفت که دمای حداقل و مطلوب چای ترش به ترتیب ۴/۰۴ و ۲۹/۸۳ درجه سانتی‌گراد است (Javadzadeh et al., 2016).

از معادلات رگرسیون غیرخطی در ارزیابی پاسخ به دما و تعیین محدوده دماهای کاردینال گیاهان دارویی مختلف از خشخاش دارویی (Kamkar et al., 2012)، آزیوش (Kamkar et al., 2014)، ماریتیغال (Dorry et al., 2014) استفاده‌شده است؛ بنابراین این تحقیق باهدف تعیین دامنه دمایی مناسب جوانه‌زنی و شناسایی رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی در بذرهای چای ترش و درنهایت تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی آن انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور تعیین دمای کاردینال جوانه‌زنی بذر چای ترش، آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی در آزمایشگاه بذر دانشکده کشاورزی دانشگاه جیرفت در سال ۱۳۹۶ انجام شد. تیمارهای آزمایشی شامل هفت سطح دمایی ثابت ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد بودند. در هر تکرار ۵۰ عدد بذر انتخاب شد و در ظرف‌های پتری‌دیش به قطر ۹ سانتی‌متر، حاوی کاغذ صافی مرطوب شده به مدت ۱۴ روز در دماهای ثابت و حالت ۱۲ ساعت روشنایی و ۱۲ ساعت تاریکی نگهداری شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده از ۲۴ ساعت پس از کاشت شروع و تا ۱۴ روز ادامه داشت. معیار جوانه‌زنی بذرها خروج ریشه‌چه از پوسته بذر و قابل‌رؤیت بودن آن با چشم غیرمسلح بود (Adam., et al., 2007; Brandel and Jensen., 2005). شمارش بذرها تا اتمام جوانه‌زنی و یا ثابت شدن آن، به‌طور مرتب و مداوم انجام گرفت. برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذرها از برنامه (SigmaPlot) استفاده شد که با استفاده از این برنامه،D10 (مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۱۰ درصد حداکثر خود برسد)، D50 (مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۵۰ درصد حداکثر خود برسد) و D90 (مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا جوانه‌زنی به ۹۰ درصد حداکثر خود برسد) محاسبه شد. در این برنامه عوامل یادشده (D10, D50, D90) برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون‌یابی منحنی جوانه‌زنی تجمعی در مقابل زمان محاسبه می‌شود. سپس سرعت جوانه‌زنی بر اساس عکس زمان تا رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی (D50/۱) محاسبه شد و در تعیین دماهای کاردینال مورداستفاده قرار گرفت. جهت تعیین دماهای کاردینال پایه، بهینه و بیشینه از مدل‌های رگرسیون دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا بین سرعت جوانه‌زنی و دماهای مختلف استفاده شد که در آن‌ها دما به‌عنوان متغیر مستقل و سرعت جوانه‌زنی به‌عنوان متغیر وابسته در نظر گرفته شد.

مدل دوتکه‌ای با استفاده از معادله ۱ و ۲ به دست آمد و با استفاده از آن دماهای کاردینال جوانه‌زنی چای ترش محاسبه شد.

$$GR=1/t=((T-T_b))/(\theta T_1 \quad \text{معادله ۱}$$

$$GR=1/t=((T-T_C))/(\theta T_2 \quad \text{معادله ۲}$$

معادله ۱ برای محدوده دمایی پایه تا دمای بهینه و معادله ۲ برای محدوده دمایی بهینه تا دمای بیشینه و با استفاده از یک معادله شرطی برازش داده شد. در معادلات ذکرشده فوق Tb,T و Tc به ترتیب دماهای محیط، دمای حداقل و دمای حداکثر، ϴT1 مجموع زمان حرارتی بین دمای پایه تا دمای بهینه و ϴT2 مجموعه زمان حرارتی بین دمای بهینه تا دمای بیشینه می‌باشد.

روش دوم تعیین دماهای کاردینال برحسب مدل بتا بود که در آن از معادلات ۳، ۴ و ۵ استفاده شد که در آن‌ها: f سرعت جوانه‌زنی (بر حسب روز)، T: دما (درجه سانتی‌گراد)، Tb، To و Tc، به ترتیب دمای پایه، دمای بهینه و دمای بیشینه و a، b و c ضرایب رگرسیون را نشان می‌دهند. در مدل بتا، دمای بهینه معادله (۴) با استفاده از مشتق اول معادله ۳ محاسبه شد. ریشه‌های معادله چندجمله‌ای درجه دو (معادله ۵) با استفاده از معادله ۳ محاسبه گردید.

معادله ۳ $f=a+bT+cT^2$

معادله ۴ $T_0=b+2cT$

معادله ۵ $T_C=(-b\pm\sqrt{(b^2-4ac)})/2a$

برای تعیین زمان بیولوژیک جوانه‌زنی نیز از معادله ۶ استفاده شد (Bradford, 2002)

معادله ۶ $e=f(T)/fo/1$

همچنین برای تعیین زمان حرارتی موردنیاز جوانه‌زنی در دمای مطلوب از رابطه زیر استفاده شد (Oliver and Annandale, 1998)

معادله ۷ $TT= (To- Tb)\ fo$

که در آن e/1 سرعت جوانه‌زنی و fo زمان بیولوژیک موردنیاز برای جوانه‌زنی می‌باشد. زمان بیولوژیک جوانه‌زنی عبارت است از زمان لازم برای جوانه‌زنی در شرایط دمای مطلوب و f(T) تابع دما است که بین صفر (در دمای پایه) و یک (در دمای مطلوب) تغییر می‌کند.

۱-تابع بتا با علامت اختصاری (B) که معادله آن به‌صورت زیر است (Yin et al, 1995)

معادله ۸ $f(T) = ((Tc-T) / (Tc-To)) \times ((T-Tb) / ((To-Tb))(To-Tb)/(Tc-To$

۲-تابع دوتکه‌ای با علامت اختصاری (S) که معادله آن به‌صورت زیر است (Soltani et al. 2006)

معادله ۹
$$f(T) = (T-Tb) / (To-Tb) \text{ if } Tb < T \leq To$$
$$f(T) = [1-(T-To) / (Tc-To)] \text{ if } To < T \leq Tc$$
$$f(T) = 0 \text{ if } T \leq Tb \text{ or } T \geq Tc$$

۳-تابع دندان مانند با علامت اختصاری (D) که معادله آن به‌صورت زیر است (Soltani et al. 2006).

معادله ۱۰
$$f(T) = (T-Tb) / (To1-Tb) \text{ if } Tb < T \leq To1$$
$$f(T) = (TC-T) / (TC-T\ O2) \text{ if } T\ O2 < T \leq TC$$
$$f(T) =1 \text{ if } T\ O1 < T \leq TO2$$
$$f(T) =0 \text{ if } T \leq Tb \text{ or } T \geq Tc$$

در این توابع Tb دمای پایه، To دمای مطلوب، To1 دمای مطلوب تحتانی، TO2 دمای مطلوب فوقانی Tc دمای بیشینه و T دمای روزانه می‌باشد.

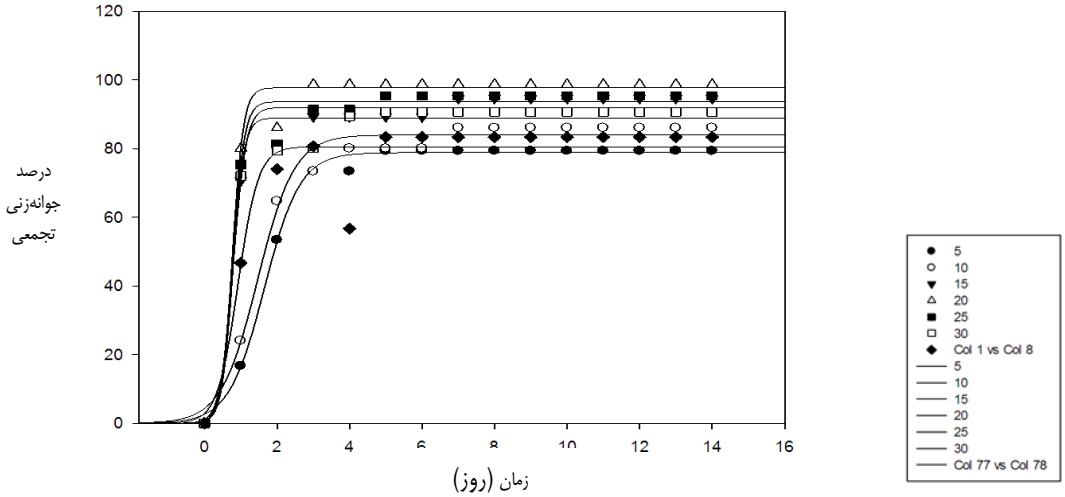
دماهای کاردینال جوانه‌زنی با استفاده از تجزیه‌وتحلیل رگرسیونی و به کمک مدل‌های ارائه‌شده و با استفاده از سرعت جوانه‌زنی محاسبه شد. محاسبه دماهای کاردینال بر اساس رابطه سرعت جوانه‌زنی و دما، روشی مرسوم در مطالعات مربوط به تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی به‌حساب می‌آید (Bradford and Haigh., 1994; Colbach., et al., 2002) تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها به روش LSD با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد.

نتایج

اثر دما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر چای ترش در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۱). شکل ۱ درصد جوانه‌زنی را به شکل تجمعی، در دماهای ۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. طبق نتایج، درصد جوانه‌زنی در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد طی ۱۴ روز به ۸۰ درصد رسید و دارای کمترین میزان جوانه‌زنی نسبت به سایر دماها بود. با افزایش دما از ۵ درجه سانتی‌گراد تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی تجمعی افزایش یافت، اما در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد مجدداً درصد جوانه‌زنی کاهش پیدا کرد (۸۲ درصد). باوجوداینکه درصد جوانه‌زنی نهایی در بسیاری از دماها مشابه بود، اما افزایش دما از ۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد مدت‌زمان رسیدن به ۵۰ درصد جوانه‌زنی را کاهش داد. بیشترین سرعت جوانه‌زنی (۱/۴۰ بذر در روز) در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد مشاهده شد که البته ازلحاظ آماری تفاوت معنی‌داری نسبت به‌سرعت جوانه‌زنی (۱/۳۵ بذر در روز) در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد نداشت، همچنین کمترین سرعت (۰/۳۲ بذر در روز) و درصد جوانه‌زنی (۸۰ درصد) در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد حاصل شد (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌های درصد جوانه‌زنی بذرهای چای ترش در تیمارهای مختلف دمایی نشان داد که با افزایش دما از ۵ تا

۱۰ درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی افزایش یافت و به ۸۷ درصد رسید. بیشترین درصد جوانه‌زنی در دماهای ۲۰ و ۲۵ درجه سانتی‌گراد (معادل ۹۸ و ۹۶ درصد) مشاهده شد، اما درصد جوانه‌زنی بین دماهای ۵ تا ۱۰ درجه سانتی‌گراد و ۲۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد اختلاف معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲). سرعت جوانه‌زنی نیز در واکنش به دماهای موردمطالعه شرایطی مشابه با درصد جوانه‌زنی داشت. بیشترین سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی در دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد (به میزان R50 =۱/۴۰) مشاهده شد، اما اختلاف معنی‌داری با دمای ۲۵ و ۳۰ درجه سانتی‌گراد نداشت. کمترین سرعت جوانه‌زنی، در دمای ۵ درجه سانتی‌گراد (به میزان R50=۰/۳۲) به دست آمد. باوجوداینکه درصد جوانه‌زنی در دمای ۱۰ درجه سانتی‌گراد ۸۷ درصد رسید، اما دارای سرعت جوانه‌زنی (۰/۵۰) پایینی بود (جدول ۲).



شکل ۱- درصد جوانه‌زنی تجمعی چای ترش در دماهای مختلف

جدول ۱- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثر دما بر خصوصیات جوانه‌زنی چای ترش

منابع تغییر	درجه آزادی	درصد جوانه‌زنی	سرعت جوانه‌زنی
دما	۶	۰/۰۱۶**	**۷۶۵/۴۲
خطا آزمایش	۱۴	۰/۰۰۱	۱۴/۶۰
کل	۲۰		

* و ** به ترتیب معنی‌داری در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۲- مقایسه میانگین اثر دما بر درصد و سرعت جوانه‌زنی چای ترش

دما (درجه سانتی‌گراد)	جوانه‌زنی نهایی (درصد)	سرعت جوانه‌زنی (بذر در روز)
۵	^{b}۸۰	^{c}۰/۳۲
۱۰	^{ab}۸۷	^{c}۰/۴۵
۱۵	^{a}۹۴	^{b}۱/۰۸
۲۰	^{a}۹۸	^{a}۱/۴۰
۲۵	^{a}۹۶	^{a}۱/۳۵
۳۰	^{a}۹۲	^{a}۱/۳۳
۳۵	^{b}۸۲	^{b}۱/۱۶

در هر ستون بین تیمارهایی که حداقل دارای یک حرف مشترک هستند، بر اساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح ۵٪ اختلاف معنی‌داری وجود ندارد.

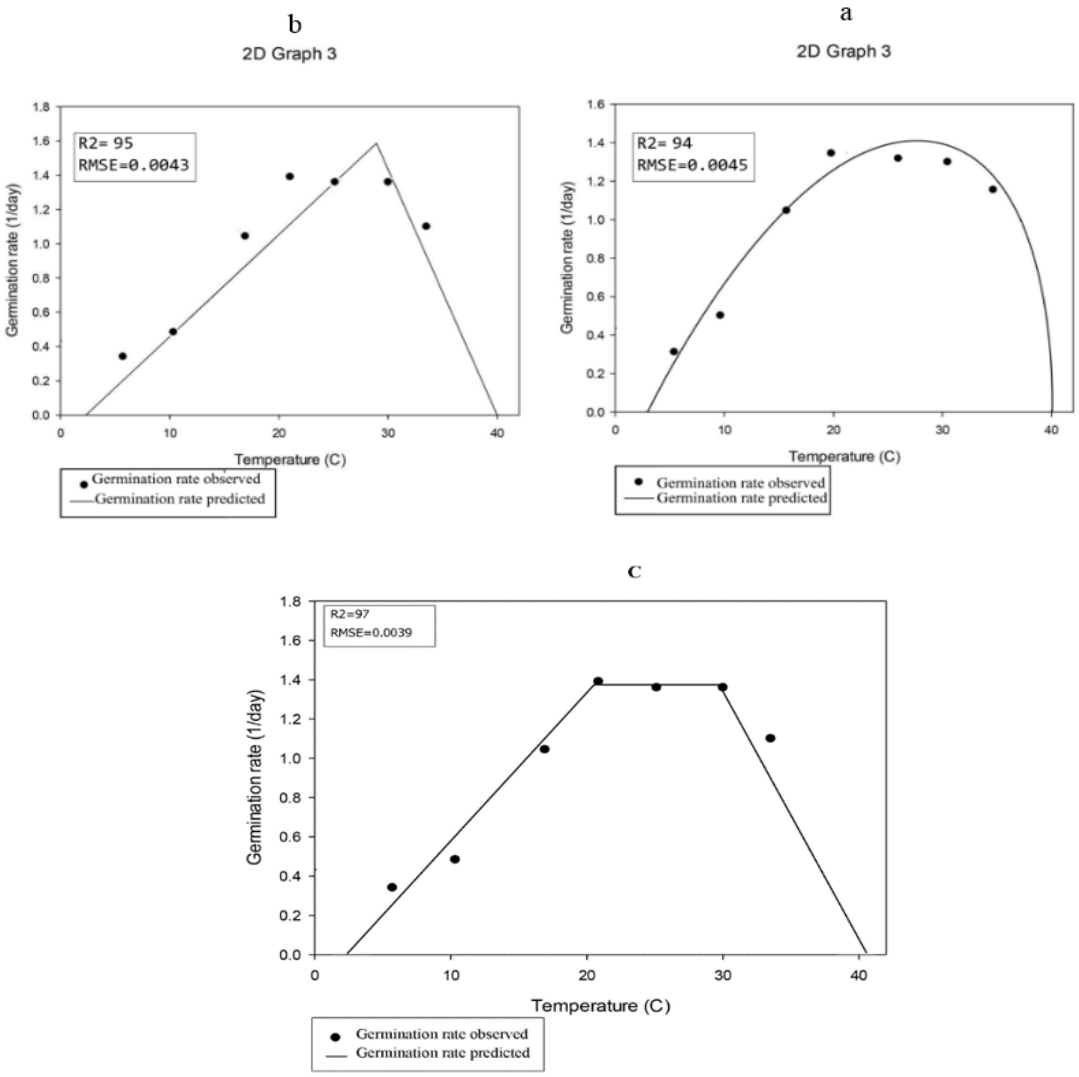
به‌منظور تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر چای ترش از سه مدل دوتکه‌ای، دندان مانند و بتا استفاده شد که با توجه به نتایج حاصل از این سه مدل، دمای پایه، بهینه و بیشینه چای ترش به ترتیب ۲ تا ۳ درجه سانتی‌گراد، ۲۵ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد و ۴۰ تا ۴۱ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. همچنین زمان بیولوژیک جوانه‌زنی برای گیاه چای ترش در مدل دندان مانند، بتا و دوتکه‌ای به ترتیب معادله ۱۷/۵۸، ۱۹/۰۲ و ۱۶/۰۸ ساعت (جدول ۴) و زمان حرارتی موردنیاز برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب در مدل دندان مانند، بتا و دوتکه‌ای به ترتیب معادل ۴۲۲، ۴۱۸ و ۴۳۴ واحد برآورد شد.

جدول ۳- مقادیر دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر چای ترش بر اساس دو مدل برازش شده

دمای کاردینال (درجه سانتی‌گراد)	مدل دوتکه‌ای	مدل بتا	مدل دندان مانند
دمای پایه	۲	۳	۲
دمای بهینه	۲۹	۲۵	۲۶
دمای بیشینه	۴۰	۴۰	۴۱
ضریب تبیین	۰/۹۵	۰/۹۴	۰/۹۷

جدول ٤- برآورد ضریب ثابت a (برای مل بتا) دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای بیشینه (T_c) و تعداد ساعت بیولوژیک (F_o) برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی با استفاده از مدل‌های رگرسیونی در چای ترش

مدل	ضریب ثابت **a**	دمای پایه	دمای مطلوب	دمای بیشینه	تعداد ساعت بیولوژیک
بتا	۱/۳۶±۰/۱۵	۳/۰±۰	۲۵/۰±۰	۴۰/۰±۰	۱۹/۰۲±۰۳۴
دوتکه‌ای		۲/۰±۰	۲۹/۰±۰	۴۰/۰±۰	۱۶/۰۸±۰۵۷
مدل	دمای پایه	دمای مطلوب تحتانی	دمای مطلوب فوقانی	دمای بیشینه	تعداد ساعت بیولوژیک
دندان مانند	۲/۰±۰	۲۱/۰±۰	۳۰/۰±۰	۴۱/۰±۰	۱۷/۷۸±۰۵۷



شکل ۲- رابطه بین سرعت جوانه‌زنی (۱/ day) و دما (درجه سانتی‌گراد) بر اساس مدل بتا (a)، مدل دوتکه‌ای (b) و مدل دندان مانند (C) در گیاه چای ترش

بحث

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد سرعت نمو یا جوانه‌زنی شاخص مناسب‌تری برای تعیین جوانه‌زنی کاردینال می‌باشد. دماهای مختلف با تأثیری که بر روی جوانه‌زنی می‌گذارند، ممکن است برای ارزیابی ویژگی‌های جوانه‌زنی و پتانسیل استقرار بذرهای گیاه چای ترش مفید باشد. همان‌گونه که در شکل (۱) دیده می‌شود درصد نهایی جوانه‌زنی بذور چای ترش تحت تأثیر دماهای مختلف قرارگرفته است، افزایش دما تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش درصد و سرعت جوانه‌زنی در بذرهای چای ترش می‌شود، اما این تأثیر بر سرعت جوانه‌زنی محسوس‌تر است که این امر نشان‌دهنده حساسیت بیشتر سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی در بذرهای چای ترش است. سرعت جوانه‌زنی در بحث استقرار اهمیت بیشتری نسبت به درصد جوانه‌زنی دارد. دما به لحاظ اثری که بر خواب،

سرعت جوانه‌زنی و سرعت رشد ساقه‌چه و ریشه‌چه می‌گذارد، درصد جوانه‌زنی نهایی بذور چای ترش تحت تأثیر قرار می‌دهد. بسته به دماهای مختلف، نقطه شروع جوانه‌زنی و زمان اتمام جوانه‌زنی و همچنین جوانه‌زنی نهایی متفاوت می‌باشد.(Evers et al., 1991)

گزارش‌های زیادی وجود دارد که نشان‌دهنده اثر افزایشی دما بر درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی تا یک حد مشخص است (Bannayan et al 2006; Najafi et al, 2007; Tabrizi et al, 2004; Iannucci et al, 2000). در مطالعه‌ای که به‌منظور ارزیابی اثر دماهای مختلف بر درصد و سرعت جوانه‌زنی در چندین گونه دارویی از تیره نعناعیان صورت گرفت، ملاحظه شد که افزایش دما از ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب سبب کاهش معنی‌دار سرعت و درصد جوانه‌زنی گونه‌های پونه‌سای انبوه (*Nepeta glomerulosa*)، پونه‌سای بینالودی (*Nepeta binaludensis*)، پونه‌سای البرزی (*Nepeta crassifolia*)، آویشن شیرازی (*Zataria multifelora*) و آویشن البرزی (*Thymus kotschyanus*) شد (Bannayan et al., 2006).

بر اساس ضرایب رگرسیونی (برای سنجش شدت رابطه بین متغیر وابسته و مستقل می‌توان از ضریب همبستگی استفاده کرد. هر چه ضریب همبستگی به ۱ یا ۱- نزدیک‌تر باشد، شدت رابطه خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته شدیدتر است. البته اگر ضریب همبستگی نزدیک به ۱ باشد جهت تغییرات هر دو متغیر یکسان است که به آن رابطه مستقیم می‌گوییم و اگر ضریب همبستگی به ۱- نزدیک باشد، جهت تغییرات متغیرها معکوس یکدیگر خواهد بود و به آن رابطه عکس می‌گوییم(Soltani et al. 2006) (، ضریب تعیین (ضریب تعیین نشان‌دهنده این است که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته تحت تأثیر متغیر مستقل مربوطه بوده و مابقی تغییرات متغیر وابسته مربوط به سایر عوامل می‌باشد (Soltani et al. 2006) (و میزان انحراف، مدل دندان مانند نسبت به مدل دوتکه‌ای و مدل بتا بهتر بود و پیش‌بینی مناسب‌تری نسبت به مدل دوتکه‌ای و بتا نشان داد (جدول ۳).

گزارش‌های متعددی از تعیین دماهای کاردینال گیاهان مختلف وجود دارد. دمای پایه، بهینه و بیشینه برای گیاه چای ترش به ترتیب ۱۱، ۳۰ و ۳۹ درجه سانتی‌گراد (Etesami et al., 2015)، خشخاش دارویی (*Papaver somniferum*) به ترتیب ۳/۰۲، ۲۷/۳۶ و ۳۶/۳۱ درجه سانتی‌گراد (Kamkar et al., 2012)، آزیوش (*Corchorus olitorius* L) به ترتیب ۱۰/۱۸، ۳۷/۳۱ و ۵۰ درجه سانتی‌گراد (Kamkar et al., 2014)، ماریتیغال (*Silybum marianum*) به ترتیب ۲/۷۵، ۳۱/۵۱ و ۳۸ درجه سانتی‌گراد (Dorry et al., 2014)، کاکوتی (*Ziziphopra capitata*) چندساله به ترتیب ۵، ۲۲ و ۳۹ درجه سانتی‌گراد (Kheirkhah et al., 2014) و برای اسفرزه (Plantago ovata) 4/4، 19 و ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد (Tabrizi et al., 2004) تعیین‌شده است. در مطالعه‌ای دیگر مشخص گردید که دو گونه اکوتیپ آویشن در ایران دارای دماهای کاردینال متفاوتی برای جوانه‌زنی هستند (Tolyat e al., 2014). این تفاوت در پاسخ جوانه‌زنی به دماهای کاردینال متفاوت نقش مهمی در سازگاری گیاهان به شرایط متفاوت محیطی دارد.

نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که جوانه‌زنی بذر چای ترش در دامنه دمایی وسیعی انجام می‌شود، به‌گونه‌ای که در دماهای خیلی پایین و بالا جوانه‌زنی مناسبی دارد. بهترین دما برای جوانه‌زنی چای ترش ۲۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، به‌طوری‌که بیشترین درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی در این دما مشاهده شد. سرعت جوانه‌زنی چای ترش شاخص حساس‌تری از درصد جوانه‌زنی نسبت به دما است، به‌نحوی‌که تغییرات دمایی تأثیر بارزتری بر این شاخص دارد. اگرچه نتایج نشان می‌دهد بذر چای ترش دارای دامنه دمایی گسترده‌ای است، اما با توجه به اینکه سرعت جوانه‌زنی معیار مهمی در استقرار گیاه می‌باشد بهتر است که زمان کاشت این گیاه طوری انتخاب شود که دما در محدوده دمای بهینه جوانه‌زنی باشد. دماهای کاردینال نقش مهمی در تعیین تاریخ کاشت هر گیاه دارند. تأمین حداقل دما برای

جوانه‌زنی شرط اول برای فراهم آمدن امکان کشت گیاه است. از سویی، انتخاب تاریخ کاشت به‌نحوی‌که بیشتر روزها دماهای نزدیک‌تر به دمای بهینه را داشته باشند، از اصول تئوریک انتخاب تاریخ کاشت‌های مطلوب است. این ضرایب مهم دمایی، در مدل‌سازی جوانه‌زنی و سبز شدن گیاه کاربرد دارند. این ضرایب برای تعیین تابع دمایی مؤثر بر زمان حرارتی روزانه رخداد جوانه‌زنی در مدل‌سازی نمو گیاه مورداستفاده قرار می‌گیرند، به‌نحوی‌که این تابع برای دمای بهینه برابر یک، بین دمای پایه و زیر بهینه و همچنین بین دماهای بالاتر از بهینه تا بیشینه کمتر از یک خواهد بود. زمان حرارتی روزانه نیز از تفاضل دمای بهینه از دمای پایه به دست می‌آید؛ بنابراین، هر چه دمای روزانه به دمای بهینه نزدیک‌تر باشد، تابع دما به یک نزدیک‌تر و درنتیجه زمان حرارتی روزانه بیشتر خواهد شد. نتیجه این مسئله، تکمیل سریع‌تر مرحله جوانه‌زنی می‌باشد. اگرچه از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی متعددی برای تحلیل پاسخ گیاهان مختلف به دماهای کاردینال استفاده‌شده است، اما در اغلب مطالعات مدل‌های دوتکه‌ای (Tabrizi et al., 2004)، بتا (Naghedi et al., 2009) و دندان مانند (Kamkar et al., 2014)، بهترین پاسخ را نشان داده‌اند.

فهرست منابع

جواد زاده، س.م، رضوانی مقدم، پ.، بنایان اول، م.ج (۱۳۹۶). دماهای کاردینال جوانه‌زنی گیاه دارویی چای ترش، پژوهش‌های بذر ایران، ۳(۲)، صفحه ۱۲۹-۱۴۱.

دری، م.ع.، کامکار، ب.، اقدسی، م.، کمشی کمر، ا. (۱۳۹۳). تعیین بهترین مدل برای ارزیابی دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی ماریتیغال، علوم و فناوری بذر ایران، ۳(۲)، صفحه ۱۸۹-۲۰۰.

کامکار، ب.، گرزین، ا.، خلیلی، ن.، قربانی، م.ح. (۱۳۹۴). کمّی‌سازی و تعیین پارامترها و دامنه‌های پاسخ به دمای بذر و گیاهچه گیاه آزیوش با استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی، به زراعی کشاورزی، ۱۷(۱)، صفحه ۲۱۷-۲۸۸.

اعتصامی،م. راحمی کاریزکی،ع.،ترابی،ب. (۱۳۹۴) کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی چای ترش به دما، پژوهش های بذر ایران، ۱(۲). صفحه ۸۶-۹۸.

Adam, N.R., D.A. Dierig., T.A. Coffelt., M.J. Wintermeyer., B.E. Mackey., and G.W. Wall. 2007. Cardinal temperatures for germination and early growth of two Lesquerella species. Industrial Crops and Products., 25 (1), 24-33.

Alvarado, V., and K. Bradford. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. Plant, Cell & Environment. 25 (8),: 1061-1069.

Bannayan, M., F. Nadjafi., M, Rastgoo., and L, Tabrizi. 2006. Germination Properties of Some Wild Medicinal Plants from Iran. Seed Technology., 28 (1), 80-86.

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.

Bradford, K.J. 2002. Applications of hydrothermal time to quantifying and modeling seed germination and dormancy. Weed Science. 50: 248-260.

Brandel, M., and K. Jensen. 2005. Effect of temperature on dormancy and germination of Eupatorium cannabinum L. achenes. Seed Science Research., 15 (02), 143-151.

Colbach, N., B. Chauvel., C. Dürr., and G. Richard. 2002. Effect of environmental conditions on Alopecurus myosuroides germination. I. Effect of temperature and light. Weed Research., 42 (3), 210-221.

Duke, J., A. Handbook., C. Press., B. Raton. 1985. Germination response of subterranean, berseem, and rose clovers to alternating temperatures. Agronomy Journal. 83:1000-1004.

Harling, G. (1951). Embryological studies in the Compositae. III. Astereae. Acta Horti Bergiani, 16, 73-120.

Iannucci, A., N. Di Fonzo., and P. Martiniello. 2000. Temperature requirements for seed germination in four annual clovers grown under two irrigation treatments. Seed Science and Technology. 28: 59-66.

Józefczyk, A., W. Markowski., M. Mardarowicz., and K. Glowniak. 1999. Preliminary GC/MS Study of the Essential Oil Isolated from Chrysanthemum Maximum. Pharmaceutical biology., 37 (1), 8-12.

Kocabas, Z., J. Craigon., and S. N. Azam-Ali. 1999. The germination response of Bambara groundnut (Vigna sublerrannean (L) Verdo) to temperature. Seed Science and Technology. 27:303-313.

Kamkar B, Jami Al-Ahmadi M, Mahdavi Damghani A and Villalobos F (2012) Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy Papaver somniferum L. seeds germinate using non-linear regression models. Industrial Crops and Products. 35: 192-198.

Kamkar, B., Koocheki, A., Nasiri Mahallati, M., and M.P. Rezvani Moghdam. 2005. Cardinal temperatures for germination in three millet species (Panicum miliaceum, Pennisetum glaucum and Setaria italica). Asian Journal of Plant Science 5: 316–319.

Kheirkhah, M., A. Koochaki., P. Rezvani Moghadam., and M. Nasiri Mahalati. 2013. Determine the cardinal temperatures germination of medicinal of (Ziziphora clinopodioides L). Iranian. Journal of Agricultural Research. 4: 385-392. (In Persian).

Majd, A., M. Shooshtari., Z. Porpak., and M. Moein. 2010. Evaluation of chemical combination essence in.Ramond Chrysanthemum maximum. Marguerite studied the chemical composition of essence of the plant of black composite various stages of development and compare Flower essence combinations and dairy pollen grains before and after the flowering season. J. Basic Knowledge Azad Islamic Univ. 78/1:15-26. (In Persian)

Nia, n., and P. Rezvani Moghadam. 2009. Evaluation of temperatures minimum, optimum and The maximum germination Kramb. Iranian Field Research. J.7: 451-456. (In Persian).

Oliver, F.C., and Annandale, J.G. 1998. Thermal time requirements for the development of greenpea (Pisum sativum L). Field Crops Research. 56: 301-307.

Najafi, F., A. Koochaki., P. Rezvani Moghadam., and M. Rastgoo. 2007. Characterization of native and endangered medicinal plant germination of (Nepeta binaludensis Jamza). Journal of. Agricultural Research. 4:385-392. (In Persian).

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), pp.419-426.

Tabrizi, L., M. Nasiri Mahalati., and A. Koochaki. 2004. Evaluation of temperatures minimum, optimum and The maximum germination Plantago ovata and psyllium. Iranian Field Crops Research. 2: 143-150. (In Persian).

Saha, P., S. Raychaudhuri., D. Mishra., A. Chakraborty., and M. Sudarshan. 2008. Role of trace elements in somatic embryogenesis . A PIXE study. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 266(6), 918-920.

Soltani, A., Robertson, M., Torabi, B., Yousefi-Daz, M., and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Meteorology. 138: 156-167.

Soltani, A., and V. Maddah. 2010. Simple, applied programs for education and research in agronomy. Shahid Beheshti Univ. Press. (In Persian).

Sohani, M. 1998. Seed Control and Certification. University Press Guilan. M.A. Tolyat, R.Tavakkol Afshari, M.R. Jahansoz, F. Nadjafi, H.A. Naghdibadi. 2014. Determination of cardinal germination termperatures of two ecotypes of Thymus daenensis. Seed Science. Technology. 42:28-35.

Yin, X., Kropff, M.J., McLaren, G., and Visperas, R.M. 1995. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. Agricultural and Forest Meteorology. 77: 1-16.