"نشریه علوم و فناوری بذر ایران"
جلد سوم، شماره 2، پائیز و زمستان 93
شماره صفحه: 200- 189

تعیین بهترین مدل برای ارزیابی دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی ماریتیغال

محمّد علی درّی[1*]، بهنام کامکار[2]، مهناز اقدسی[3] و الهه کمشی‌کمر[4]

1- دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان
2- دانشیار گروه زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
3- دانشیار گروه زیست شناسی دانشگاه گلستان
4- دانشجوی کارشناسی‌ارشد زراعت دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

چکیده

به منظور بررسی دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر گیاه دارویی ماریتیغال (*Silybum marianum*) آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در آزمایشگاه بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. بذرها در دماهای 5، 10، 15، 20، 25، 30 و 35 درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. بذرهایی که طول ریشه‌چه آن‌ها حداقل دو میلی‌متر بود جوانه‌زده محسوب شده و شمارش شدند. سرعت جوانه‌زنی و درصد جوانه‌زنی تجمعی در هریک از دماها محاسبه شدند. سرعت جوانه-زنی با استفاده از دو روش عکس زمان رسیدن به 50 درصد جوانه‌زنی (D50) و عکس میانگین زمان جوانه‌زنی محاسبه شد. برای بدست آوردن دماهای کاردینال جوانه‌زنی از هشت مدل رگرسیونی غیر خطی استفاده شد. نتایج نشان داد تاثیر دما بر درصد جوانه‌زنی، زمان رسیدن به 50 درصد جوانه‌زنی و عکس زمان رسیدن به 50 درصد جوانه‌زنی و همچنین عکس میانگین زمان جوانه‌زنی درسطح یک درصد معنی‌دار شد. بالاترین درصد جوانه‌زنی در دمای 15 درجه سانتی‌گراد بدست آمد. براساس آماره‌های ضریب تبیین، میانگین مطلق خطا و جذر میانگین مربعات خطا، مدل دوتکه‌ای برآورد بهتری داشت. با استفاده از این مدل و براساس زمان رسیدن به 50 درصد جوانه‌زنی دمای پایه 2/75، مطلوب 31/51 و سقف 38 درجه سانتی‌گراد برآورد شد. برای محاسبه سرعت جوانه‌زنی، استفاده از 1/D50 به دلیل داشتن ضریب رگرسیون بالاتر و جذر میانگین مربعات خطای کمتر نسبت به عکس میانگین زمان جوانه‌زنی، شاخص برتری می‌باشد.

کلمات کلیدی: دما، سرعت جوانه زنی، ماریتیغال، مدل دوتکه‌ای.

مقدمه

جوانه‌زنی از بحرانی‌ترین مراحل جهت استقرار موفق گیاهچه می‌باشد و اهمیت زیادی در تعیین تراکم نهایی بوته در واحد سطح دارد و اغلب، حتی زمانی که شرایط رطوبتی مناسب است، توسط دما محدود می‌شود (Jordan and Haferkamp,1989). عوامل محیطی مختلف از جمله دما و رطوبت، جوانه‌زنی را تحت تاثیر قرار می‌دهند. برادفورد (Bradford, 2002) بیان کرد دما در شکستن بذرهای دارای خواب و همچنین بر سرعت جوانه‌زنی در بذرهای بدون خواب اثر می‌گذارد. عکس‌العمل جوانه‌زنی نسبت به دما به عوامل متعددی از جمله گونه‌های گیاهی، رقم، منطقه رویش، کیفیت بذر و مدت زمان پس از برداشت بستگی دارد (Copeland and McDonald,1995). برای توصیف رابطه بین دما و سرعت جوانه‌زنی در برخی گونه‌های گیاهی از

*نویسنده مسئول: محمدعلی درّی، نشانی: مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان
E-mail: mohamaddori@yahoo.com
تاریخ دریافت: 93/3/21
تاریخ تصویب: 93/6/26

Archive of SID
www.SID.ir

رگرسیون خطی استفاده شده است که به رامین (Ramin, 1997) می‌توان اشاره کرد. سرعت جوانه‌زنی خطی با افزایش دما در یک محدوده معین افزایش و بطور سریعی در دماهای بالاتر کاهش می‌یابد (Kamkar *et al.*, 2005). این محدوده دمایی تحت عنوان دماهای کاردینال (دماهای پایه، مطلوب و سقف) شناخته می‌شود (Phartyal *et al.*, 2003)، که برای ارائه مدل پیش‌بینی جوانه‌زنی بذر در گونه‌های گیاهی مورد نیاز می‌باشند (Ramin, 1997). محاسبه دماهای کاردینال بر اساس رابطهٔ سرعت جوانه‌زنی و دما، روشی است که در مطالعات تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی گزارش شده است (Colbach, *et al.*, 2002, Jacobsen and Bach, 1998). برخی از محققان استفاده از مدل‌های ریاضی را برای به دست آوردن دماهای کاردینال گزارش کردند (Hardegree and Winstral, 2006, Jami Al-Ahmadi and Kafi, 2007). بلاک شو (Blackshow, 1991) مدل لجستیک را برای گندم و کامکار و همکاران (Kamkar *et al.*, 2005 و Kamkar *et al.*, 2008) مدل دوتکه‌ای و لجستیک را برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی سه گونه ارزن و یک واریته گندم (تجن) استفاده کردند. کامکار و همکاران (Kamkar *et al.*, 2012) سه مدل بتا، دوتکه‌ای و دندان‌مانند را برای تعیین دماهای کاردینال گیاه دارویی خشخاش(*Papaver somniferum*) استفاده و مدل دوتکه‌ای را بهترین مدل گزارش کردند. جامی‌الاحمدی و کافی (Jami Al-Ahmadi and Kafi, 2007) با تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی گونه *Kochia scopa*ria بیان نمودند این گیاه در دامنه‌ای وسیع از دما، از 3/5 درجه سانتی‌گراد به عنوان دمای پایه تا حداکثر 50 درجه سانتی‌گراد قادر به جوانه‌زنی بوده و دمای مطلوب آن 24 درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دماهای کاردینال برای جوانه‌زنی در بیشتر گیاهان زراعی تقریباً مشابه دماهای کاردینال لازم برای رشد رویشی می‌باشند (Adam *et al.*, 2007). گزارش‌های متعدد حاکی از اثر افزایشی دما تا نقطه‌ای خاص بر درصد و سرعت جوانه‌زنی بذر می‌باشند (Bannayan *et al.*, 2006 و Hardegree and Winstral, 2006). اثر رژیم‌های دمای مختلف بر جوانه‌زنی علف‌جارو نشان داد که دما تأثیر معنی‌داری بر جوانه‌زنی داشته و در دماهای بالاتر سرعت جوانه-زنی بیشتر است (Khan and Weber, 2001).

نجفی وهمکاران (Nadjafi *et al*., 2009) با استفاده از مدل رگرسیون خطی دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی بذر ماریتیغال را به ترتیب معادل 2/7، 18 و 40/3 درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند. پوررضا و بحرانی (Pourreza and Bahrani, 2012) با استفاده از تابع دوتکه‌ای دماهای پایه، مطلوب و سقف برای جوانه‌زنی ماریتیغال را به ترتیب معادل 1/34، 20/51 و 41/81 درجه سانتی‌گراد تعیین کردند. همچنین در این بررسی حداکثر درصد جوانه‌زنی در دماهای 27-21 و حداکثر سرعت جوانه‌زنی در دمای 21 درجه سانتی‌گراد گزارش شد. همچنین نتایج قوامی و رامین (Ghavami, and Ramin, 2007) نشان داد که در تیمارهای مختلف شوری در دمای 15 درجه سانتی‌گراد درصد جوانه‌زنی بذر ماریتیغال از دمای 25 و 35 درجه سانتی‌گراد بیشتر بود. اطلاع دقیق از نحوه جوانه‌زنی بذر گیاهان دارویی به منظور استقرار موفق و مطلوب و برای اهلی‌سازی و کشت آنها به ویژه این‌که اطلاعات نسبتاً کمی از این گیاهان وجود دارد ضروری است. هدف از این تحقیق، بررسی اثر دما بر

Archive of SID

www.SID.ir

درصد نهایی و سرعت جوانه‌زنی و همچنین تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر ماریتیغال به عنوان یک گیاه دارویی تولیدکننده سیلی‌مارین (ماده اولیه تولید داروهای ضد هپاتیت) بود.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین دماهای پایه، بهینه و سقف جوانه-زنی بذرگیاه ماریتیغال (*Silybum marianum*)، دماهای 5، 10، 15، 20، 25، 30 و 35 درجه سانتی‌گراد در نظرگرفته شدند. بذرها قبل از قرارگیری در پتری-دیش، از لحاظ اندازه، غربال و یکنواخت شدند. این آزمایش در داخل ژرمیناتورهایی با دماهای ذکر شده و شرایط بدون نور انجام شد. آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار انجام شد. برای ضدعفونی، بذرها به مدت30 ثانیه درمحلول هیپوکلریت سدیم 5 درصد غوطه‌ور و سپس با آب مقطر شسته شدند. تعداد50 عدد بذر ضدعفونی شده بین دو عدد کاغذ صافی در هر پتری‌دیش به عنوان یک تکرار قرار گرفت. جهت جلوگیری از اثر منفی تبخیرآب، پتری‌دیش‌ها را در داخل کیسه‌های پلاستیکی قرارداده و سر کیسه‌ها به طور کامل بسته شدند. شمارش بذرهای جوانه‌زده، پس از 24 ساعت شروع و به مدت 21 روز در ساعت معینی در هر روز انجام شد. بذرهای جوانه‌زده پس از شمارش و ثبت، از پتری‌ها خارج شدند. معیار جوانه‌زنی بذر، خروج ریشه‌چه حداقل به طول دو میلی‌متر در نظرگرفته شد. پایان مرحله جوانه‌زنی، زمانی در نظر گرفته شد که دو روز متوالی جوانه‌زنی مشاهده نشد. برای محاسبه درصد جوانه‌زنی[1] (GP) از رابطه (1)، میانگین زمان جوانه‌زنی[2] (MGT) از رابطه (2) و برای سرعت جوانه‌زنی[3] (GR) از دو رابطه عکس زمان رسیدن به 50 درصد جوانه‌زنی (رابطه 3) و عکس میانگین زمان جوانه‌زنی (رابطه 4) استفاده شد:

$$GP = \sum_{i=0}^{n} \left(\frac{ni * 100}{N}\right) \qquad (1)$$

$$MGT = \frac{\sum Ti * ni}{\sum ni} \qquad (2)$$

$$GR = \frac{1}{D50} \qquad (3)$$

$$GR = \frac{1}{MGT} \qquad (4)$$

که در آن ni : تعداد بذرهای جوانه‌زده در روز i ، N : تعداد کل بذرها در هر پتری‌دیش، MGT : میانگین زمان جوانه‌زنی، Ti تعداد روزهای بعد از جوانه‌زنی، GR: سرعت جوانه‌زنی و D50 زمان از کاشت بذر تا 50 درصد حداکثر جوانه‌زنی بذرها می‌باشد. درکلیهٔ تیمارها، منحنی پیشرفت جوانه‌زنی نسبت به زمان (ساعت) ترسیم و زمان لازم برای رسیدن به 5 ، 10، 50، 90، 95 درصد جوانه‌زنی از طریق درون‌یابی برآوردگردید که برای این منظور از نرم افزار GS-2011 (Kamkar, 2011) استفاده شد. این نرم‌افزار تابع لجستیک را به داده‌های جوانه‌زنی در برابر دما برازش داده و از طریق درون‌یابی محاسبات لازم را انجام می‌دهد (کامکار و همکاران، 2012).

برای تعیین دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی بذر ماریتیغال ازمدل‌های مسطح، لجستیک، دندان-

1 .Germination percentage ,
2. Mean Germination Time
3. Germination Rate

Archive of SID
www.SID.ir

مانند، دوتکه‌ای، بتا، منحنی، درجه دوم و درجه سوم استفاده شد (جدول 1).

جدول 1- مدل‌های برازش داده شده برای تعیین دماهای کاردینال

Table 1- The models was fitted to determine the cardinal temperatures

مدل		
مسطح Flat	If Tb <T <To If To ≤T	$f(T) = (T - T_e)/(T_e - Tb)$ $f(T) = 1$
لجستیک Logestic		$f(T) = [\frac{1}{(1 + Exp^{(-a*(T-T_e))})}]$
دندان مانند Dent like	If Tb <T <To1 If To2 <T <Tc If To2 <T < To1 If T≥ To or T≤ Tb	$f(T) = (T - T_e)/(T_{e1} - Tb)$ $f(T) = (Tc - T)/(Tc - T_{e2})$ $f(T) = 1$ $f(T) = 0$
دوتکه‌ای Segmented	If Tb <T <To If To ≤T<Tc If T≥ Tc or T≤ Tb	$f(T) = (T - T_e)/(T_e - Tb)$ $f(T) = [1 - (\frac{T - Tb}{T_e - Tb})]$ $f(T) = 0$
بتا Beta	If Tb ≤T<Tc If T≥ Tc or T≤ Tb	$f(T) = [[(\frac{T - Tb}{T_e - Tb}] * [\frac{Tc - T}{Tc - T_c}]]^{((Tc-T_e)/(T_e-Tb))]^{\alpha}}$ $f(T) = 0$
منحنی Curvilinear		$f(T) = [[\frac{1}{[(T_e - Tb) * (Tc - T_e)^{[\frac{Tc-T_e}{Tc-Tb}]}]}] * [(T - Tb) * (Tc - T)^{[\frac{Tc-T_e}{Tc-Tb}]}]$
درجه دوم Quadratic		$f(T) = [(T - Tb) * (Tc - T) * (\frac{Tc - Tb}{2})^{-2}]$
درجه سوم Cubic		$f(T) = a + bT + cT^2 + dT^3$

برای انتخاب بهترین مدل برازش داده شده از آماره‌های مقادیر میانگین مطلق خطا[1] (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا[2] (RMSE) وضریب تبیین (R^2) استفاده شد (Kamkar *et al*., 2012). داده‌های مربوط به درصد جوانه‌زنی تبدیل زاویه‌ای شده و کل داده‌ها با استفاده از نرم افزار SAS (Sabouri Rad *et al*., 2011) تجزیه آماری شدند. میانگین صفات بوسیله آزمون LSD در سطح احتمال پنج درصد مورد مقایسه قرار گرفت. برای رسم نمودارهای سرعت جوانه‌زنی در برابر دما (برازش مدل‌های مختلف) از نرم افزار سیگما پلات (Sigma Plot) استفاده شد.

نتایج و بحث

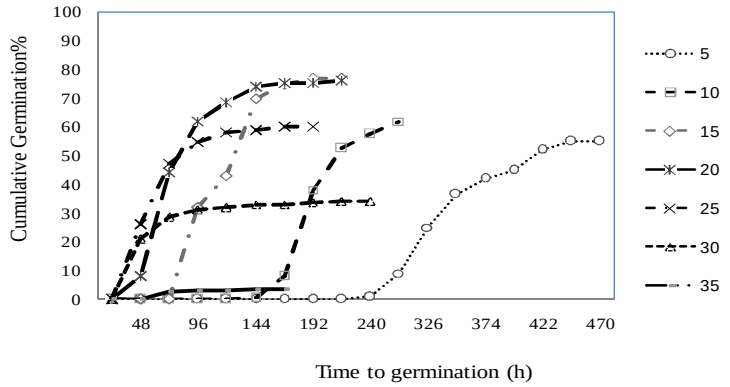
بیشترین مدت زمان برای شروع جوانه‌زنی و درصدهای مختلف آن در دمای 5 درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل1). با افزایش دما تا محدوده دماهای بهینه جوانه‌زنی، متوسط زمان جوانه‌زنی کاهش و سرعت جوانه‌زنی افزایش یافت. اگرچه درصد جوانه‌زنی در دمای 15 درجه سانتی‌گراد حداکثر بود، اما بالاترین سرعت جوانه‌زنی در بین دماهای مورد مطالعه در دمای30 درجه سانتی‌گراد

1.Mean Absolute Error
2. Root Mean Square Error

Archive of SID

www.SID.ir

مشاهده شد. اختلاف در بیشترین درصد جوانه‌زنی و بیشترین سرعت جوانه‌زنی در مطالعه تبریزی و همکاران (Tabrizi *et al*., 2008) نیز بر روی بذرهای دو توده آویشن گزارش شد. آن‌ها بیان نمودند سرعت جوانه‌زنی در واکنش به دماهای مورد مطالعه روندی مشابه با درصد جوانه‌زنی برای هر دو توده بذری داشت، اما بالاترین سرعت جوانه‌زنی با بالاترین درصد جوانه‌زنی تطابق نداشت، در حالی‌که بالاترین درصد جوانه‌زنی در دمای 15 و20 درجه سانتی‌گراد به ترتیب برای توده بذری طبیعی و زراعی بدست آمد، بیشترین سرعت جوانه‌زنی در دمای 30 درجه سانتی‌گراد برای هردو توده بذری حاصل شد. افزایش دما بیشتراز حد مطلوب، برکاهش درصد جوانه‌زنی بیشتر از دماهای پایین‌تر از حد مطلوب تاثیر داشت. جوانه‌زنی بذر مجموعه‌ای از فعل و انفعالات بیوشیمیایی است که عمدتاً به دما و رطوبت بستگی دارند، به طوری‌که کاهش فعالیت‌های آنزیمی در دماهای پایین و خسارت آنزیم‌ها در دماهای بالا علت اصلی کاهش درصد جوانه‌زنی در خارج از محدوده دمایی مطلوب گیاهان می‌باشد. به نظر می‌رسد آنزیم-های موثر در فعالیت جوانه‌زنی در بذرهای این گیاه به دماهای بالاتر از مطلوب حساس‌تر باشند. دماهای خارج از محدوده دمایی مطلوب برای جوانه‌زنی، علاوه برکاهش درصد جوانه‌زنی سبب افزایش مدت زمان رسیدن به درصدهای مختلف جوانه‌زنی در بذرهای این گیاه شد. دماهای بالا علاوه بر کاهش سرعت جوانه‌زنی سبب نابودی بذر نیز می‌شوند (Hardegree, 2006). کاپلند و مکدونالد (Copeland and McDonald, 1995) تغییر پروتئین‌های ضروری جوانه‌زنی را عامل توقف جوانه‌زنی در دمای سقف بیان نمودند. سرعت جوانه‌زنی بالاتر بذر، امکان استفاده به موقع از رطوبت خاک و استقرار موفق گیاهچه را فراهم نموده و احتمال بهره‌برداری بیشتر از شرایط محیطی مثل تابش را برای تولید مواد فتوسنتزی و عملکردهای بالاتر امکان پذیر می‌نماید.



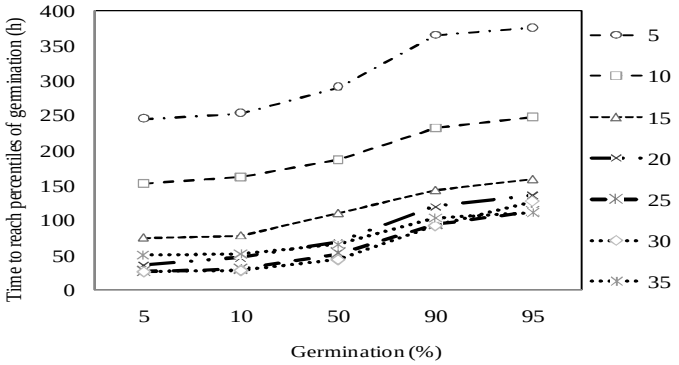
شکل 1– درصدجوانه‌زنی تجمعی ماریتیغال در برابر زمان در تیمارهای مختلف حرارتی

Fig 1- Cumulative germination *silybum marianum* versus time in different temperatures

زمان رسیدن به درصد مشخصی از جوانه‌زنی عامل مهمی در واکنش جوانه‌زنی بذرها نسبت به عوامل محیطی و حتی تنش‌های محیطی است. وقتی بذر گیاهی در دمای مناسب جوانه‌زنی قرار نداشته

www.SID.ir

باشد برای شروع جوانه‌زنی به زمان بیشتری نیاز دارد. بذر گیاه ماریتیغال هم وقتی در دماهای مختلف قرار گرفت برای شروع جوانه‌زنی واکنش‌های متفاوتی نشان داد به طوری‌که بیشترین (240 ساعت) و کمترین (20 ساعت) زمان برای شروع جوانه‌زنی (5 درصد جوانه‌زنی) به ترتیب در دمای 5 و 30 درجه سانتی‌گراد مشاهده شد (شکل 2). به همین ترتیب برای رسیدن به 90 درصد جوانه‌زنی بیشترین و کمترین زمان برای این دو دما به ترتیب 366 و 80 ساعت ثبت شد و مدت زمان رسیدن به 90 درصد جوانه‌زنی سایر دماها بین این دو دما قرار دارند (شکل 2). نتایج نشان می‌دهد در دمای 30 درجه سانتی‌گراد کمترین مدت زمان رسیدن به 5، 10، 50، 90 و 95 درصد جوانه‌زنی مشاهده شد که با گزارش خان و وبر (Khan and Weber, 2001) همچنین آلواردو و برادفورد (Alvarado and Bradford, 2002) که بیان نمودند در دماهای بالاتر، سرعت جوانه‌زنی بیشتر است، مطابقت دارد. اگرچه مدت زمان رسیدن به درصدهای جوانه‌زنی در دمای 30 درجه‌سانتی‌گراد کمتر است یا به عبارتی سرعت جوانه‌زنی بیشتری مشاهده شد، اما درصد جوانه‌زنی نیز در این دما بسیار کم می‌باشد (34 درصد)، درحالی‌که در دمای 15 و20 درجه سانتی‌گراد بیشترین درصد جوانه‌زنی با 77 و76 درصد بدست آمد (شکل3). نتیجه این بررسی با بیان تبریزی و همکاران (Tabrizi *et al*., 2008) که گزارش کردند دمایی که بالاترین سرعت جوانه‌زنی توده بذری آویشن مشاهده شد با دمایی که بالاترین درصد جوانه‌زنی مشاهده شد اختلاف دارد مطابقت دارد.



شکل 2 - زمان رسیدن به 5، 10، 50، 90، 95 درصد جوانه‌زنی ماریتیغال در دماهای مختلف

Fig 2- Time to reach 5, 10, 50, 90, 95% germination of *silybum marianum* at different temperatures

در نتایج نجفی و همکاران (Nadjafi *et al*., 2009) نیز بالاترین درصد جوانه‌زنی بذر گیاه ماریتیغال با 78/1 در دمای 20 درجه سانتی‌گراد بدست آمد و بین درصد جوانه‌زنی در دماهای 20 و 25 درجه سانتی‌گراد با 78/1 و 76/8 درصد اختلاف معنی‌دار گزارش نشد. همچنین آنها بیان نمودندکمترین درصد جوانه‌زنی (4/3 درصد) در دمای 35 درجه سانتی‌گراد رخ داد که به درصد جوانه‌زنی 3/5 درصد در آزمایش حاضر بسیار نزدیک است. این تفاوت‌ها در واکنش به دما در این گیاه احتمالاً به دلیل تفاوت در منشاء

Archive of SID

www.SID.ir

بذر مورد آزمایش می‌باشد. به گزارش آدام و همکاران (Adam *et al.*, 2007) واکنش جوانه‌زنی به دما می‌تواند در میان گونه‌ها و حتی توده‌های درون یک گونه متفاوت باشد. نتایج بررسی حاضر نشان داد دماهای مختلف علاوه بر تاثیر بر درصد نهایی جوانه-زنی بذر، اثرات متفاوتی نیز بر مدت زمان تا شروع و همچنین پایان جوانه‌زنی بذر گیاه ماریتیغال دارند. این نتیجه می‌تواند برای کشاورزان و مدیران مزارع در مدیریت‌های زراعی در زمان کاشت جنبه کاربردی داشته باشد.

به نظر می‌رسد کاهش درصد جوانه‌زنی در دمای 30 درجه سانتی‌گراد در بذرهای این گیاه، بیانگر وقوع شرایطی است که کاپلند و دونالد (Copeland and McDonald 1995) در خصوص تغییر پذیری پروتئین‌های ضروری با افزایش دما در بذر بیان نموده‌اند، به طوری‌که این شرایط در دمای 35 درجه سانتی‌گراد برای بذرهای این گیاه در حداکثر و جوانه زنی در حداقل بود. تجزیه واریانس نتایج درصد جوانه‌زنی، زمان رسیدن به 50 درصد جوانه‌زنی و سرعت جوانه‌زنی بذر بر مبنای 1/D50 و 1/MGT در دماهای مختلف در سطح یک درصد اختلاف معنی-دار نشان داد (جدول 2). اگرعواملی مثل نور، آب و مواد غذایی محدودکننده نباشند دما مهمترین عامل برای جوانه‌زنی محسوب می‌شود. درک جوانه‌زنی بذر در واکنش به دماهای کاردینال برای شناخت محیط و تعیین زمان‌های کشت یک گیاه ضروری است. در این آزمایش درصد جوانه‌زنی در دماهای 15 و20 درجه سانتی‌گراد اختلاف نداشتند، اما درصد جوانه‌زنی در دماهای 5 ،10 و 25 و همچنین 30 و 35 درجه سانتی‌گراد در سطح یک درصد اختلاف معنی‌داری نشان دادند (شکل 3).

جدول 2- تجزیه واریانس برخی صفات جوانه‌زنی بذر ماریتیغال در دماهای مختلف

Table 2- Analysis of variances of germination traits of *Silybum marianum* at different temperatures.

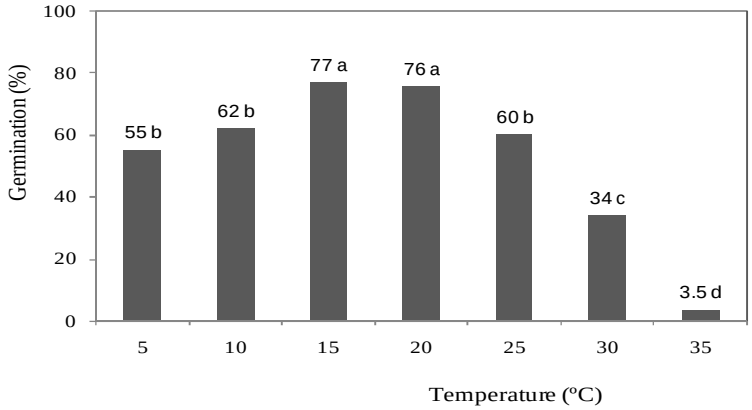
		مجموع مربعات.MS			
منبع تغیر S.O.V.	درجه آزادی df	سرعت جوانه‌زنی Germination rate		زمان رسیدن به 50درصد جوانه‌زنی Time to 50% of Germination	درصد جوانه‌زنی seed Germination%
		(1/MGT)	(1/D50)		
دما Temperature	6	0.0013**	0.0002**	81902.86**	0.379**
خطا Error	21	0.0102	0.000009	4187.46	0.0089
ضریب تغیرات C.V.%		25.56	24.6	6.12	11.27

**:درسطح یک درصد معنی‌دار است.

**: is significant at 1% level

میانگین درصد جوانه‌زنی در دمای 15 درجه سانتی‌گراد 77 درصد و در دمای 20 درجه سانتی‌گراد 76 درصد بود (شکل 3). کمترین درصد جوانه‌زنی در دمای 35 درجه سانتی‌گراد (3/5 درصد) بدست آمد. نتایج این مطالعه نشان داد که ماریتیغال در محدوده دمایی نسبتاً وسیعی قادر به جوانه‌زنی است. در گزارشی به‌طور مشابه، بالندری و همکاران (Balandari *et al.*, 2011) بیان داشتند، جوانه‌زنی گیاه دارویی کاسنی (*Cichorium pumilum*)، در دامنه وسیع 3 تا 40 درجه سانتی‌گراد، نشان از توانایی جوانه‌زنی این گیاه بومی و وحشی در دماهای مختلف محیط دارد.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل 3- مقایسه میانگین درصد جوانه‌زنی بذر ماریتیغال در دماهای مختلف

Fig 3- Mean comparison of *silybum marianum* seed germination percentage at different temperatures

در این آزمایش درصد جوانه‌زنی بذر این گیاه با افزایش دما تا 20 درجه سانتی‌گراد افزایش و پس ازآن شروع به کاهش نمود. با افزایش دما به بالاتر از دمای مطلوب سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت و در دمای حداکثر، سرعت و درصد جوانه‌زنی به حداقل رسیدند. این نتیجه با گزارش بنایان و همکاران (Bannayan *et al*., 2006) و هاردگری و وینسترال (Hardegree and Winstral, 2006) که بیان نمودند افزایش جوانه‌زنی تا نقطه خاصی افزایش می‌یابد مطابقت دارد. شکل‌های 4 (الف) و4 (ب) سرعت جوانه‌زنی بذر ماریتیغال را در دماهای مختلف به ترتیب بر اساس 1/D50 و 1/MGT نشان می‌دهد. در این شکل‌ها تغییرات سرعت جوانه‌زنی تقریباً مشابه هستند، به طوری‌که بالاترین سرعت جوانه‌زنی در دمای 30 درجه سانتی‌گراد و کمترین سرعت جوانه-زنی در دمای 5 درجه سانتی‌گراد مشاهده شد. اما به کمک آماره‌های محاسبه شده اختلاف بین دو روش بخوبی مشخص شد. ضریب تبیین بین دما و سرعت جوانه‌زنی بر مبنای عکس میانگین زمان جوانه‌زنی، 0/63 و در سطح پنج درصد معنی‌دار شد و شیب خط و RMSE به ترتیب 0/004 و 0/036 محاسبه شدند. درحالی که ضریب تبیین بین دما و سرعت جوانه‌زنی بر مبنای عکس زمان رسیدن به 50 درصد جوانه‌زنی، 0/74 و در سطح یک درصد معنی‌دار شد. شیب خط و RMSE نیز به ترتیب 0/001 و 0/003 محاسبه شدند. با توجه به این آماره‌ها یعنی ضریب تبیین بالاتر و RMSE کمتر، به نظر می‌رسد محاسبه سرعت جوانه‌زنی مبتنی بر 1/ D50، روشی قابل اعتمادتر باشد.

منبعی که توابع مختلف را برای برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذرگیاه ماریتیغال مقایسه کرده باشد، پیدا نشد. نجفی و همکاران (Nadjafi *et al*.,2009) با مدل خطی و پوررضا و بحرانی (Pourreza and Bahrani, 2012) با مدل دوتکه‌ای دماهای مطلوب، پایه و سقف جوانه‌زنی بذر ماریتیغال را تعیین نمودند. دماهای برآورد شده با مدل‌های استفاده شده در این مطالعه، با یکدیگر تفاوت نشان دادند (جدول 3). ضریب تبیین مدل‌های بکار رفته از 0/24 برای مدل لجستیک تا 0/98 برای مدل‌های

Archive of SID

www.SID.ir

دوتکه‌ای و دندان مانند تغییر داشت. آماره‌های محاسبه شده برای مدل‌های دوتکه‌ای و دندان مانند، شامل ضریب تبیین با 0/98 بالاترین و همچنین میانگین مطلق خطا و جذر میانگین مربعات خطا به ترتیب با 0/0007 و 0/0009 کمترین مقدار را داشتند (جدول 3). نتایج برآوردهای دماهای کاردینال در مدل دندان مانند بسیار نزدیک به مدل دوتکه‌ای بود به طوری‌که دماهای مطلوب تحتانی و مطلوب فوقانی در مدل دندان مانند دارای تفاوت کمی بود (0/76) که می‌توان آن را همچون مدل دوتکه‌ای به عنوان یک دمای مطلوب در نظر گرفت. بدین ترتیب مدل دوتکه‌ای به عنوان مدل برتر برای برآورد دماهای کاردینال انتخاب شد (جدول 3). بنابراین در این مطالعه دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی بذر با استفاده از مدل دوتکه‌ای معادل 2/75، 31/51 و 38 درجه سانتی‌گراد برآورد شدند (جدول 3 و شکل 5-ج). دمای پایه جوانه‌زنی برآورد شده در این بررسی با دمای پایه جوانه‌زنی در بررسی نجفی وهمکاران (Nadjafi *et al*., 2009) مشابه است. تفاوت اعداد بدست آمده برای دماهای کاردینال می‌تواند به تفاوت منشاء (خاستگاه) بذر و نیز تفاوت روش‌های محاسبه (رگرسیون خطی یا غیرخطی) باز گردد. برای تاکید این موضوع به تفاوت در اکوتیپ یا محل تهیه بذر ماریتیغال در دو آزمایش ذکر شده در قسمت‌های بالا (تهران و رامهرمز) با آزمایش حاضر (اصفهان) و همچنین تفاوت در شرایط و روش اندازه‌گیری جوانه‌زنی می‌توان اشاره کرد. این نتیجه توسط کامکار و همکاران (Kamkar *et al*., 2012) در گیاه خشخاش دارویی مورد تاکید قرار گرفت. سعیدنژاد و همکاران (Saeidnejad *et al*., 2012) نیز با مطالعه دماهای کاردینال چهار اکوتیپ زیره سیاه (*Bunium persicum*) (بذر های جمع‌آوری شده از مناطق مختلف) گزارش کردند که دمای برآورد شده پایه، مطلوب و همچنین سقف در بین اکوتیپ‌ها متفاوت بود. در این آزمایش گزارش شد دمای پایه از 0/27 تا 4/14 درجه سانتی‌گراد، و دمای مطلوب از 16/19 تا 22/14 درجه سانتی‌گراد نوسان داشتند.

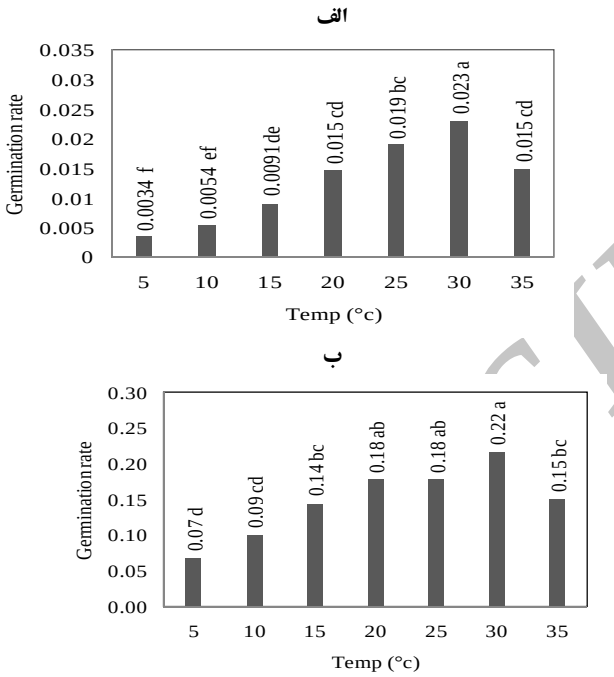
بررسی محمودی و همکاران (Mahmoodi *et al*., 2008) و کامکار و همکاران (Kamkar *et al*., 2012) نیز نشان دادکه واکنش سرعت جوانه‌زنی بذر یونجه حلزونی و گیاه خشخاش به دما با تابع دوتکه‌ای توصیف خوبی داشت. بدلیل پایین بودن ضریب تبیین در سایر مدل‌ها و همچنین نامناسب بودن آماره‌های RMSE و MAE نسبت به مدل دو تکه‌ای(جدول 2)، مدل‌های دیگر بررسی شده در این آزمایش، برای تعیین دماهای کاردینال گیاه ماریتیغال قابل اعتماد نیستند. ماریتیغال در محدوده دمایی نسبتا وسیعی قادر به جوانه‌زنی است و براساس نتایج بدست آمده در این بررسی آشکار شدکه جوانه‌زنی بذر این گیاه درعدم وجود تنش‌های رطوبتی و نور تحت تاثیر تغییرات دما قرار دارد. باتوجه به نتایج بدست آمده از این آزمایش بذرهای این گیاه در دمای 15 درجه سانتی‌گراد بیشترین درصد جوانه‌زنی را دارد. با تعیین دماهای کاردینال، امکان ارزیابی محدودیت‌های جغرافیایی گونه‌ها و زمان کشت آنها ممکن می‌گردد (Naghedinia and Rezvani Moghaddam, 2009).

روش‌های مورد استفاده برای محاسبه دماهای کاردینال می‌تواند نتایج متفاوتی نشان دهد، به طوری که در نتایج این مطالعه مشخص شد روش محاسبه

Archive of SID

www.SID.ir

سرعت بر اساس 1/D50 نسبت به روش 1/MGT از لحاظ آماره‌های بدست آمده مقادیر MAE و RMSE کمتری دارد و بهتر است. در اولین دهک‌های جوانه-زنی نیز، محاسبه سرعت جوانه‌زنی بر اساس روش 1/D50 بهترین نتیجه را می‌دهد.



شکل 4- سرعت جوانه‌زنی بذر ماریتیغال در دماهای مختلف بر مبنای الف) 1/D50 و ب) 1/MGT

Fig. 4- *S. marianum* seed germination rate at different temperatures based on a) 1/D50 b) 1/MGT

جدول 3– مقادیر دماهای کاردینال، ضریب تبیین، ریشه دوم میانگین خطای معیار و میانگین خطای مطلق بدست آمده از مدل‌های مختلف برای D50

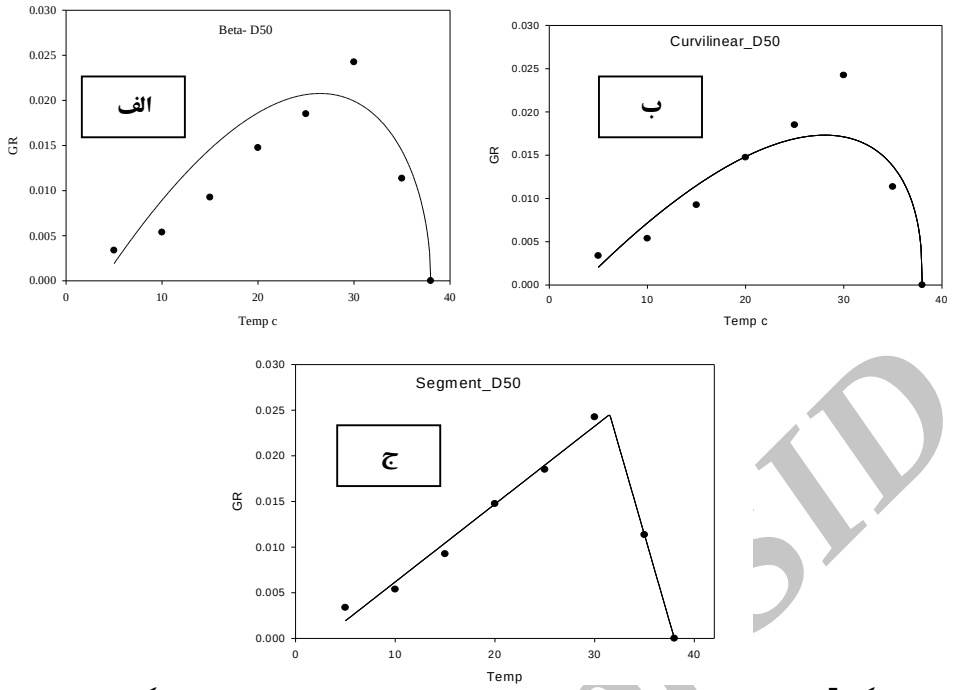
Table 3- Cardinal temperatures values, R^2, root mean squared error, mean absolute error obtained from different models for D50

مدل	Tb	To1	To2	Tc	fo	Yo	xo	a*	a	b	c	R^2	RMSE	MAE
بتا Beta	3.78	26.82	-	38	48.16	-	-	0.93	-	-	-	0.8	0.0036	0.0023
دندان مانند Dent Like	2.75	30.89	31.65	38	41.65	-	-	-	-	-	-	0.98	0.0009	0.0007
دوتکه‌ای Segmented	2.75	31.51	-	38	40.7	-	-	-	-	-	-	0.98	0.0009	0.0007
منحنی Curvilinear	3.18	28.08	-	38	57.74	-	-	-	-	-	-	0.84	0.0031	0.0024
درجه دوم Quadratic	-	-	-	-	-	-0.013	-	-	0.0026	-0.0001		0.63	0.0044	0.0026
درجه سوم Cubic	-	-	-	-	-	0.014		-	-0.0031	0.0003	-0.000005	0.95	0.0018	0.0015
لجستیک Logestic	-	-	-	-	-	-	11.004	-	0.014	-5.06	-	0.24	0.0048	0.0026
مسطح Flat	1.64	19.93	-	-	73.01	-	-	-	-	-	-	0.28	0.0045	0.003

Tb :دمای پایه، To1 و To2 : حد پایین دمای مطلوب و حد بالای دمای مطلوب، Tc :دمای سقف، *a: پارامتر مدل بتا، fo: حداقل زمان برای جوانه‌زنی در دمای مطلوب، Yo: عرض از مبدا، xo: حداقل زمان جوانه‌زنی، a، b, c: ضرایب مدل، R^2: ضریب تبیین، RMSE : جذر میانگین مربعات خطا و MAE : میانگین خطای مطلق.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 5- مدل های برتر برای سرعت جوانه‌زنی (1/D50): (الف) بتا ، (ب) منحنی و (ج) دوتکه‌ای

Fig 5-Best models for germination rate (1/D50): a) Beta b) Curvilinear c) Segmented

گزارش‌های متعددی حاکی از آن است که برای بدست آوردن دماهای کاردینال بذرهای گیاهان مختلف، مدل دوتکه‌ای نسبت به سایر مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برتری دارد. بر اساس نتایج بدست آمده حاصل از مقایسه مقادیر MAE و RMSE، از میان مدل‌های بکار رفته آن مدلی که دارای کمترین مقادیر این آماره‌ها بود برای پیش‌بینی بکار رفت، به طوری‌که مدل دوتکه‌ای به عنوان مدل برتر برای برآورد دماهای کاردینال گیاه ماریتیغال معرفی شد. بر همین اساس بهترین برآوردها برای تعیین دماهای کاردینال در زمان رسیدن به 50 درصد جوانه‌زنی توسط مدل دوتکه‌ای بدست آمد. دمای پایه 2/75، مطلوب 31/51 و سقف معادل 38 درجه سانتی‌گراد برای D50 برآورد شد.

References

منابع

Adam, N.R., Dierig, D.A., Coffelt, T.A., and M.J. Wintermeyer. 2007. Cardinal temperatures for germination and early growth of two *Lesquerella* species. Indian Journal of Crops and Production, 25: 24-33.

Alvarado, V., and K.J. Bradford. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperature for seed germination. Plant cell and Environment, 25:1061-1069.

Balandari, A., Rezvani Moghaddam, P., and M. Nassiri Mahallati. 2011. Cardinal temperatures for seed germination of *Cichorium pumilum* Jacq. Second Congress of Seed Science and Technology, Mashhad, Iran.

Bannayan, M., Nadjafi, F., Rastgoo, M., and L. Tabrizi. 2006. Germination properties of some wild medicinal plants from Iran. Journal of Seed Technology, 28: 80-86.

Blackshow, R.E. 1991. Soil temperature and moisture effects on downy brome Vs. winter canola, wheat and ray emergence. Crop Science, 31: 1034 – 1040.

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

Archive of SID
www.SID.ir

Colbach, N. B. Chauvel, C. Durr, and G. Richard. 2002. Effect of environmental conditions on *Alopecurus myosuroides* germination. I. Effect of temperature and light. Weed Research, 42:210-221.
Copeland, L. O., and M. B. McDonald. 1995. Principles of seed science and technology. Chapman & Hall. 409 pp., USA.
Ghavami, N., and A. A. Ramin. 2007. Salinity and temperature effects on seed germination of Milk Thistle. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Vol: 38: 2681-2691.

Hardegree, S. 2006. Predicting germination response to temperature. I. Cardinal temperature models and subpopulation-specific regression. Annual Botany, 97:1115-1125.

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. Annual Botany, 98:403-410.

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.

Jami Al-Ahmadi, M., and M. Kafi. 2007. Cardinal temperatures for germination of *Kochia scoparia* (L.). Journal of Arid Environment, 68: 308–314.
Jordan, G. L., and M. R. Haferkamp. 1989. Temperature responses and calculated heat units for germination of several range grasses and shrubs. Journal of Range Management. 42: 41-45.
Kamkar, B., Ahmadi, M., Soltani, A., and E. Zeinali. 2008. Evaluation non-linear regression models to describe a response of wheat emergence rate to temperature. Seed Science and Biotechnology, 2: 53-57.
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.
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
Kamkar, B. 2011. GS_2011. A Pocket Software to calculate germination and emergence indices. GUASNR.
Khan, M., Gul, A., and, D.J. Weber. 2001. Influence of salinity and temperature on germination of *Kochia scoparia*. Wetlands Ecology Management 9, 483-489.
Mahmoodi, A., Soltani, E. and H. Barani. 2008. Germination response to temperature of snail medic (*Medicago scutellata* L.). E. Jour. Crop Production, Vol. 1 (1), 54-63.
Nadjafi, F., Tabrizi, L., Shabahang, J. and A. M. Mahdavi Damghani. 2009. Cardinal germination temperatures of some medicinal plant species. Seed Technology, 31(2): 156-163.
Naghedinia, N., and P. Rezvani Moghaddam. 2009. Investigations on the cardinal temperatures for germination of *Crambe kotschyana*.. Jouranl of field crop Research, Vol: 7 (2), 451-456.

Phartyal, S.S., Thapliyal, R.C., Nayal, J.S., Rawat, M.M.S., and G. Joshi. 2003. The influencesof temperature on seed germination rate in Himalayan elm (*Ulmus wallichiana*). Seed Science and Technology, 31:83–93.
Pourreza, J., and A. Bahrani. 2012. Estimating cardinal temperatures of milk thistle (*Silybum marianum*) seed germination. American-Eurasian Journal Agriculture and Environmental Science, 12 (11): 1485-1489.
Ramin, A. A. 1997. The influence of temperature on germination of taree Irani (*Allium ampeloprasum* L. spp. iranicum W.). Seed Science and Technology. 25:419-426.

Sabouri Rad, S., Kafi, M., Nezami, A., and M., Bannayan Aval. 20 11. Germination behavior of *Kochia scoparia* in response to temperature and Salinity. Journal of Agroecology , 4(4): 282-293. (In Persian with English Summary)
Saeidnejad, Kafi, M., and M. Pessarakli. 2012. Evaluation of cardinal temperatures and germination responses of four ecotypes of *Bunium persicum* under different thermal conditions. International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 4 (17): 1266-1271.
Tabrizi**, L., Koocheki, A., Nassiri Mahallati, M., and P. Rezvani Moghaddam. 2008.** Germination behaviour of cultivated and natural stands seeds from of Khorasan Thyme (*Thymus transcaspicus* Klokov) with application of regression models. Iranian Journal of Field Crops Research. 5 (2): 249-257.

Archive of SID

www.SID.ir