



علوم و تحقیقات بذر ایران

سال چهارم / شماره دوم / ۱۳۹۶ (۱۶ - ۱)

DOI: 10.22124/jms.2017.2494

ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیر خطی برای توصیف واکنش سرعت جوانه‌زنی بذر منداب (*Eruca sativa* Mill.) به دما و پتانسیل آب

بتول نژادحسن^۱، آسیه سیاهمرگویی^{۲*}، ابراهیم زینلی^۳، فرشید قادری فر^۳، الیاس سلطانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۰/۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۲/۱۳

چکیده

پژوهش حاضر به منظور ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیر خطی (مدل‌های بتای اصلی، بتای تغییر یافته، دوتکه‌ای و دندان-مانند) برای توصیف واکنش سرعت جوانه‌زنی بذر منداب (*Eruca sativa* Mill.) به دما و پتانسیل آب به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان در سال ۱۳۹۲ انجام شد. تیمارهای مورد بررسی شامل دما در ۹ سطح (۲/۵، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۳۸ درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل‌های آب در ۸ سطح (صفر، ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱/۰، ۱/۲- و ۱/۴- مگاپاسکال) بود. در این مطالعه از مدل‌های بتای اصلی، بتای تغییر یافته، مدل دوتکه‌ای و مدل دندان مانند برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی استفاده شد. مدل بتای اصلی نسبت به سایر مدل‌ها واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما و پتانسیل آب را بهتر توصیف نمود. بر اساس این مدل دمای پایه، دمای مطلوب و دمای سقف در شرایط عدم تنش (پتانسیل صفر) به ترتیب ۰/۰، ۳۰/۱۳ و ۳۸/۵۰ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. تغییرات پتانسیل آب تأثیر معنی‌داری بر دمای مطلوب و سقف داشتند اما دمای پایه و تعداد ساعت زیستی لازم برای جوانه‌زنی بذر منداب تحت تأثیر پتانسیل آب قرار نگرفتند.

واژه‌های کلیدی: تنش خشکی، ساعت بیولوژیک، شاخص‌های جوانه‌زنی، مدل‌های رگرسیونی

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد زراعت، استادیار ودانشیار گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۴- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی ابوریحان، دانشگاه تهران، ورامین، ایران
*نویسنده مسئول: siahmarguee@gau.ac.ir

مقدمه

منداب (*Eruca sativa* Mill.) گیاهی یک‌ساله از خانواده شب‌بو (Brassicaceae) می‌باشد. این گیاه علفی، وحشی، بوته‌ای، ایستا، سرمدوست و روزبلند با گل‌های زردرنگ (گاهی به رنگ بنفش) با رگه‌های تیره است (Rashed-mohasel *et al.*, 2000). منداب بومی ایران است و از بلوچستان تا نواحی دریای خزر انتشار دارد و در اغلب خاک‌ها و شرایط آب و هوایی به‌خوبی رشد می‌کند (Deyhim-fard, 2004; Jam-Nezhad *et al.*, 2009). این گیاه حاوی مواد مؤثره دارویی شامل روغن فرّار، آلومینوئید، مواد معدنی، تیوگلی کوزید، فیتوسترول، الکلویید می‌باشد (Samsam-shariat, 2007). روغن دانه منداب در صنایع غذایی، بهداشتی، دارویی و در صنعت برای ساخت پلیمرها، صابون، مواد جلا دهنده، روغن ماساژ، روغن‌های لغزان کننده و ثابت کننده واکس کاربرد دارد (FAO, 2007). با وجود برخورداری از ویژگی‌های بسیار مطلوب، کشت و کار این گیاه در اکثر کشورهای جهان رونق ندارد (Sun *et al.*, 2005) و در حال حاضر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین گیاهان هرز خانواده چلیپاییان در مزارع گیاهان یک‌ساله پاییزه مانند گندم، جو، سیب‌زمینی گسترش یافته است (Jam-nezhad *et al.*, 2009). این علف هرز همراه گندم در فصل پاییز و زمستان می‌روید و در اوایل بهار به گل رفته و دانه‌های آن قبل از رسیدن گندم به زمین می‌ریزند؛ این ویژگی سبب شده است که این گیاه بتواند سطح وسیعی از مزارع گندم را آلوده کند (Deyhim-fard, 2004). جم‌نژاد و همکاران (Jam-nezhad *et al.*, 2007) اظهار داشتند که گیاه منداب با گسترش سطح برگ خود در اوایل دوره رویش گندم می‌تواند رقابت زود هنگامی را با گندم ایجاد کند و بدین ترتیب سبب کاهش تعداد پنجه و تعداد ساقه بارور گندم شود. این محققان گزارش کردند که این گیاه در تراکم ۲۵ بوته در مترمربع می‌تواند عملکرد دانه، عملکرد زیست‌توده و شاخص سطح برگ گندم رقم طیبسی را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد. جعفرنژاد و رحیمیان (Jafar-Nejad and Rahimian, 2003) در بررسی قدرت رقابت ارقام مختلف گندم در برابر علف‌هرز منداب به نتیجه‌ای مشابه تحقیق جم‌نژاد و همکاران دست یافتند. دیهیم فرد (Deihimfard, 2004) برتری منداب در مقابل گندم را جوانه‌زنی سریع‌تر، سرعت رشد بالاتر، سیستم ریشه‌ای

گسترده‌تر و عمیق‌تر و شکل رشد خوابیده معرفی نمودند و بر لزوم معرفی ارقام رقابتی گندم در برابر این علف هرز در مناطق آلوده تاکید کردند.

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در برتری رقابتی علف‌های هرز در مقابل گیاهان زراعی، زمان نسبی سبز شدن آن‌ها است. با توجه به حساس بودن این فاکتور به دما، شناخت دماهای کاردینال جوانه‌زنی علف‌های هرز از اهمیت زیادی برخوردار است تا بتوان از طریق تنظیم تاریخ کاشت، شرایط را به نفع گیاه زراعی تغییر داد. در این راستا، روش‌های ریاضی از جمله تعیین بهترین تابع رگرسیونی که بتواند واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما را کمی نموده و دماهای کاردینال را برآورد نماید، می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی در مورد ویژگی‌ها و نیازهای دمایی گیاه در این مرحله ارائه دهد.

انواعی از توابع ریاضی برای شرح رابطه بین سرعت جوانه‌زنی و دما استفاده شده است (Soltani *et al.*, 2006). کامکار و همکاران (Kamkar *et al.*, 2012) پس از بررسی دماهای کاردینال خشخاش (*Papaver somniferum* L.) مدل دوتکه‌ای (Segmented) را به‌عنوان مدل برتر برای پیش‌بینی روند جوانه‌زنی معرفی کردند و دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی این گیاه را به ترتیب ۳/۰۲، ۲۷/۳۶ و ۳۶/۳۱ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند. ظفریان (Zafariyan, 2014) مدل بتای اصلی را به داده‌های سرعت جوانه‌زنی تاج خروس ریشه قرمز در مقابل دما برازش دادند و براساس این مدل دماهای ۳/۲، ۲۴ و ۴۲/۳ درجه سانتی‌گراد را به عنوان دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی این گیاه معرفی کردند. قادری‌فر و همکاران (Ghaderi-far *et al.*, 2012) برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر چاودار (*Secale cereale*) از مدل دندان مانند استفاده کردند و به ترتیب دماهای پایه، مطلوب پایینی، مطلوب بالایی و سقف این گیاه را ۳/۲۸، ۲۵، ۳۴/۵ و ۴۰ درجه سانتی‌گراد گزارش نمودند. سهرابی و همکاران (Sohrabi *et al.*, 2013) برای تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی غده‌های بزرگ علف هرز فیکاریا (*Ranunculus ficaria*) از مدل دوتکه‌ای استفاده کردند و دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی این علف هرز را به ترتیب صفر، ۸ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد محاسبه نمودند.

شرایط تغییر دما و پتانسیل آب در شرایط آزمایشگاه انجام شد.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی اثرات دما و پتانسیل آب بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی بذر منداب این آزمایش در سال‌های ۹۲ و ۹۳ در آزمایشگاه تحقیقات بذر دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا گردید. بذرهاى منداب در بهار سال ۱۳۹۲ از مزارع شهرستان بافت در استان یزد جمع‌آوری شد و بعد از بررسی‌های اولیه مشخص گردید که بذرهاى جمع‌آوری شده فاقد خواب هستند.

آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در ۴ تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل دما در ۷ سطح (۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۳۸ درجه سانتی‌گراد) و پتانسیل آب در ۸ سطح (صفر، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶-، ۰/۸-، ۱/۰-، ۱/۲- و ۱/۴- مگاپاسکال) بود. در هر تکرار ۵۰ عدد بذر سالم ضدعفونی‌شده با هیپوکلرید سدیم ۱۰ درصد در پتری‌دیش‌هایی به قطر ۹ سانتی‌متر قرار داده شدند. تیمارهای دمایی توسط انکوباتور یخچال‌دار با دقت ۰/۵ درجه سانتی‌گراد اعمال گردید. پتانسیل‌های آب با فرمول میچل و کافمن (Michel and Kaufmann, 1973) و با استفاده از پلی-اتیلن گلایکول ۸۰۰۰ براساس معادله (۱) تهیه و برای سطح تنش خشکی شاهد از آب مقطر استفاده شد (بعد از گذاشتن بذور روی یک لایه کاغذ صافی، به هر پتری‌دیش بسته به نوع تیمار ۵ میلی‌لیتر آب مقطر یا محلول مورد نظر اضافه شد).

$$S = -(1/18 \times 10^{-2})C - (1/18 \times 10^{-4})C^2 + (2/67 \times 10^{-4})CT + (8/39 \times 10^{-7})C^2T \quad \text{رابطه (۱)}$$

رسیدن به ۵ (D₅)، ۱۰ (D₁₀)، ۵۰ (D₅₀)، ۹۰ (D₉₀) و ۹۵ (D₉₅) درصد حداکثر جوانه‌زنی را محاسبه می‌کند. برنامه یاد شده، این پارامترها را برای هر تکرار و هر تیمار بذری از طریق درون‌یابی خطی منحنی افزایش جوانه‌زنی در مقابل زمان محاسبه می‌کند. سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) از طریق فرمول زیر محاسبه شد (Soltani et al., 2002):

$$R_{50} = 1/D_{50} \quad \text{رابطه (۲)}$$

نتایج تحقیقات مختلف نشان داده است که تغییر عوامل محیطی از قبیل دما و پتانسیل آب می‌تواند تأثیر زیادی بر رفتار جوانه‌زنی و سبزشدن بذور علف‌های هرز داشته باشد (Koger et al., 2004; Chauhan et al., 2006; Lu et al., 2006; Susko and Hussein, 2008; Ghaderi-far et al., 2010). کیانی (Kiyani, 2015) نشان داد که با افزایش پتانسیل اسمزی، مقدار دمای پایه و تعداد ساعات بیولوژیک لازم برای جوانه‌زنی گیاه هرز نیلوفر پیچ (*Ipomea spp.*) افزایش و مقدار دمای مطلوب و سقف کاهش یافت. بر این اساس به ازای هر واحد کاهش پتانسیل اسمزی، مقدار دمای پایه و تعداد ساعت بیولوژیک به ترتیب به میزان ۶ درجه سانتی‌گراد و ۳۱ ساعت افزایش و دماهای مطلوب و سقف به ترتیب به میزان ۸ و ۴ درجه سانتی‌گراد کاهش یافت. شیردل (Shirdel, 2015) با مطالعه گیاه کنجد وحشی به عنوان علف هرز مهاجم مزارع سویای استان گلستان دریافت که دماهای کاردینال جوانه‌زنی این گیاه تحت تأثیر پتانسیل-آب قرار نگرفتند ولی تعداد ساعت زیستی جوانه‌زنی تحت تأثیر پتانسیل آب قرار گرفت و به‌ازای هر واحد کاهش پتانسیل آب به میزان ۵ ساعت افزایش یافت. تأثیر پتانسیل اسمزی بر دماهای کاردینال جوانه‌زنی در گیاهان مختلف توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است (Salimi and Feredun-Pur, 2013; Kiyani, 2015).

با توجه به اهمیت شناسایی بیولوژیکی گیاه منداب و کم بودن اطلاعات در این زمینه، این تحقیق با هدف ارزیابی مدل‌های مختلف رگرسیونی غیرخطی برای تعیین بهترین مدل در برآورد دماهای کاردینال جوانه‌زنی در رابطه (۱) غلظت پلی‌اتیلن گلایکول ۸۰۰۰ (بر حسب گرم در لیتر)، T: درجه حرارت (بر حسب درجه سانتی‌گراد) و S: پتانسیل اسمزی (بر حسب مگاپاسکال).

شمارش تعداد بذور جوانه‌زده طی چند نوبت در هر روز انجام شد و شمارش تا زمانی ادامه یافت که جوانه‌زنی به مدت ۳ روز متوالی متوقف ماند؛ معیار برای تشخیص بذور جوانه‌زده خروج ریشه‌چه به اندازه ۲ میلی‌متر یا بیشتر بود (Soltani et al., 2002). برای محاسبه درصد و سرعت جوانه‌زنی بذور از برنامه (Soltani and Germin, 2010) Maddah استفاده شد. این برنامه زمان لازم برای

(اصلی) و بتا (تغییریافته) آزمون شدند (Soltani *et al.*, 2006).

در این روابط T دمای متوسط روزانه (دمای آمایش)، T_b دمای پایه، T_{O1} دمای مطلوب تحتانی، T_{O2} دمای مطلوب فوقانی، T_c دمای سقف بر حسب درجه سانتی‌گراد و α پارامتر شکل برای تابع بتا است که انحنای تابع را تعیین می‌کند.

تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری به کمک رویه *nlin* در نرم‌افزار SAS صورت گرفت (Soltani, 2007). در روش مطلوب‌سازی تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن‌ها با روش کم‌ترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود.

در این رابطه، R_{50} سرعت جوانه‌زنی (در ساعت) را نشان می‌دهد. به‌منظور کمی‌سازی واکنش جوانه‌زنی به دما و تعیین دماهای کاردینال از معادله ۳ استفاده شد (Soltani *et al.*, 2013).

$$R_{50} = f(T)R_{\max} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این رابطه $f(T)$ تابع دما است که از صفر در دمای پایه و سقف تا ۱ در دمای مطلوب تغییر می‌کند و R_{\max} حداکثر سرعت ذاتی جوانه‌زنی در دمای مطلوب است. بنابراین، حداقل ساعت تا جوانه‌زنی را در دمای مطلوب $1/R_{\max}$ نشان می‌دهد که همان تعداد ساعت زیستی مورد نیاز برای جوانه‌زنی می‌باشد.

برای بررسی واکنش جوانه‌زنی بذرها به دما در پتانسیل‌های مختلف تابع دمایی دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتا

معادله تابع دندان‌مانند^۱ به‌صورت زیر است:

$$f(T) = \begin{cases} ((T - T_b)/(T_{O1} - T_b)) & \text{if } T_b < T \leq T_{O1} \\ ((T_c - T)/(T_c - T_{O2})) & \text{if } T_{O2} < T \leq T_c \\ 1 & \text{if } T_{O1} < T \leq T_{O2} \\ 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases} \quad \text{رابطه (۴)}$$

۲- معادله تابع دوتکه‌ای^۲ به‌صورت زیر است:

$$f(T) = \begin{cases} (T - T_b)/(T_o - T_b) & \text{if } T_b < T \leq T_o \\ (T_c - T)/(T_c - T_o) & \text{if } T_o < T < T_c \\ 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases} \quad \text{رابطه (۵)}$$

۳- معادله تابع بتا (اصلی)^۳ به‌صورت زیر است:

$$f(T) = \begin{cases} [(T - T_b/T_o - T_b) * (T_c - T/T_c - T_b)/(T_c - T_o/T_o - T_b)] / \alpha / f_o & \text{if } T > T_b \text{ and } T < T_c \\ 0 & \text{if } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c \end{cases} \quad \text{رابطه (۶)}$$

۴- معادله تابع بتا (تغییریافته)^۴ به‌صورت زیر است:

$$f(T) = (((T_c - T)/(T_c - T_p)) * ((T - T_b)/(T_p - T_b)) * ((T_p - T_b)/(T_c T_p))) \quad \text{if } T_b = 0, T_c = 40$$

¹Dent-Like

²Segmented

³Beta-Original

⁴Beta-Modified

سانتی‌گراد به‌ترتیب ۱۱۹، ۱۱۹ و ۱۶۸ ساعت، در دمای ۱۵ درجه سانتی‌گراد ۷۲، ۹۶ و ۱۶۸ ساعت، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ۴۷، ۷۴ و ۷۴ ساعت و در دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد ۵۰، ۵۰ و ۹۴ ساعت بود، یعنی با کاهش پتانسیل آب زمان تا حداکثر جوانه‌زنی افزایش یافت. پتانسیل منفی بالای آب خصوصاً در مراحل اولیه جوانه‌زنی منجر به کاهش جذب آب توسط دانه و مانع تداوم فرآیند-های مربوط به جوانه‌زنی از جمله تأثیر بر انتقال ذخایر دانه و سنتز پروتئین‌ها در جنین می‌شود (Boydak *et al.*, 2003). در واقع افزایش تنش خشکی قابلیت دسترسی به آب را کاهش داده و اثر نامطلوبی بر درصد و سرعت جوانه‌زنی خواهد داشت. علت کاهش سرعت جوانه‌زنی در شرایط تنش خشکی را می‌توان به کاهش سرعت فعالیت‌های متابولیکی بذر، کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها، در اثر اختلال در جذب آب توسط بذر نسبت داد؛ در نتیجه مدت زمان خروج ریشه‌چه از بذر افزایش یافته و سرعت جوانه‌زنی کاهش می‌یابد (Khakshur- Moghadam *et al.*, 2011). نظریان (Nazariyan, 2015) دریافت که پاسخ جوانه‌زنی نیلوفر وحشی به کاهش رطوبت خاک در دماهای مختلف، یکسان نیست. کبری و مورداچ (Kebreab and Murdoch, 1999) مشاهده کردند که بذره‌های گل جالیز (*Orobanchae aegyptiaca*) در دمای مطلوب در سطوح پایین‌تری از پتانسیل آب جوانه زدند. تبریزی و همکاران (Tabrizi *et al.*, 2004) نیز گزارش کردند که سرعت جوانه‌زنی نسبت به درصد جوانه‌زنی شاخص حساس‌تری از دما بود که جوانه‌زنی را تحت تأثیر قرار داد.

در شکل (۲) درصد جوانه‌زنی در مقابل دما در هر یک از پتانسیل‌های رطوبتی جداگانه نشان داده شده است. نتایج حاکی از آن بود که در پتانسیل‌های صفر، ۰/۲-، ۰/۴-، ۰/۶- و ۰/۸- مگاپاسکال، حداکثر درصد جوانه‌زنی در دامنه دمایی ۵ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد تقریباً ثابت (به-ترتیب به‌طور متوسط ۹۷/۹۳ درصد، ۹۶/۷۹ درصد، ۹۵/۲۱ درصد، ۹۴/۴۳ درصد و ۹۳ درصد) بود اما در دما-های کمتر از ۵ و بیشتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی با کاهش پتانسیل آب به‌طور خطی کاهش یافت. درصد جوانه‌زنی در پتانسیل صفر بار در دمای ۴۳، در پتانسیل ۰/۲- مگاپاسکال در دمای ۴۱، در پتانسیل ۰/۴- مگاپاسکال در دمای ۴۲، در پتانسیل ۰/۶- مگاپاسکال در

هم‌چنین، برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از معیارهای زیر استفاده شد:

۱- RMSE (جذر میانگین مربعات خطا).

۲- ضریب تبیین رگرسیون بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده، با استفاده از رابطه ۸ محاسبه شد.

$$R_2 = 1 - \text{SSE} / \text{SSG} \quad (8)$$

که در آن SSE و SSG به‌ترتیب مجموع خطا و مجموع مربعات کل هستند.

۳- ضریب همبستگی خطی بین روز تا جوانه‌زنی مشاهده‌شده با جوانه‌زنی پیش‌بینی‌شده. هرچه مقدار آن بیش‌تر باشد نشان‌دهنده این است که مدل پیش‌بینی دقیق‌تری دارد.

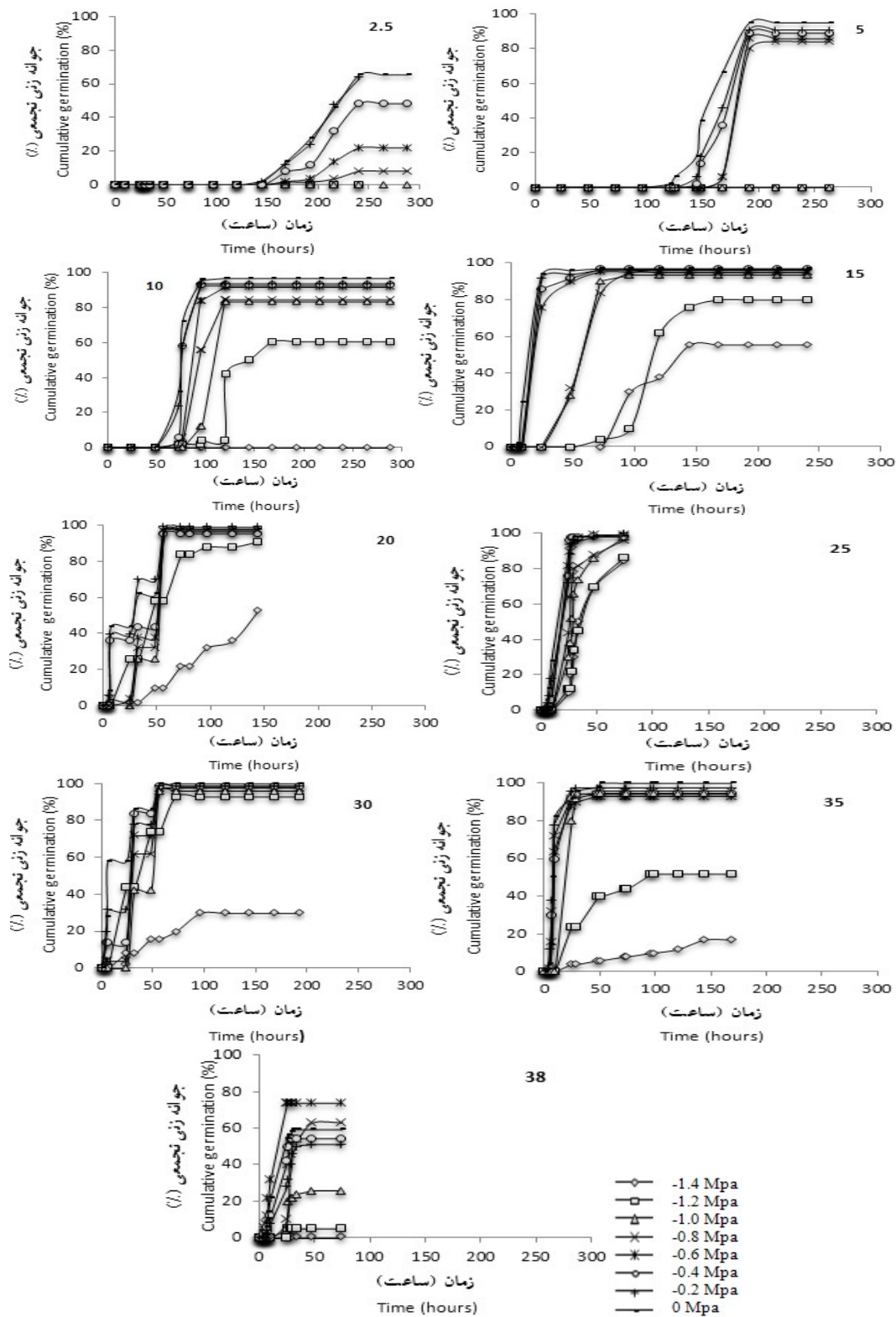
۴- استفاده از ضرایب رگرسیون خطی بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده به این ترتیب که:

معنی‌دار بودن هریک از ضرایب a یا b در رگرسیون بین مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده حاکی از بالابودن خطای مدل در پیش‌بینی آن است. هرچه نقاط به خط ۱:۱ در رگرسیون گفته شده نزدیک‌تر باشند حاکی از کارایی بالاتر مدل می‌باشد. ضریب a معنی‌دار به این معنی است که عرض از مبدأ خط رگرسیون با عرض از مبدأ خط ۱:۱ مطابقت ندارد. ضریب b معنی‌دار به این معنی است که شیب خط رگرسیون با خط ۱:۱ مطابقت ندارد و خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب معنی‌دار می‌باشد. لازم به ذکر است برای تعیین معنی‌دار بودن ضریب، از حاصلضرب t جدول و مقدار اشتباه استاندارد استفاده می‌شود.

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS، مقایسه میانگین تیمارها با استفاده از آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد (Soltani, 2007) و رسم نمودارها با استفاده نیز از نرم‌افزارهای Excel و Sigma plot انجام شد.

نتایج و بحث

در همه دماها، با کاهش پتانسیل آب، حداکثر درصد جوانه‌زنی کاهش و زمان رسیدن به آن افزایش یافت اما میزان این تغییرات در همه دماها یکسان نبود (شکل ۱). به‌عنوان مثال، زمان رسیدن به حداکثر جوانه‌زنی در پتانسیل‌های صفر، ۰/۸- و ۱/۲- بار در دمای ۱۰ درجه

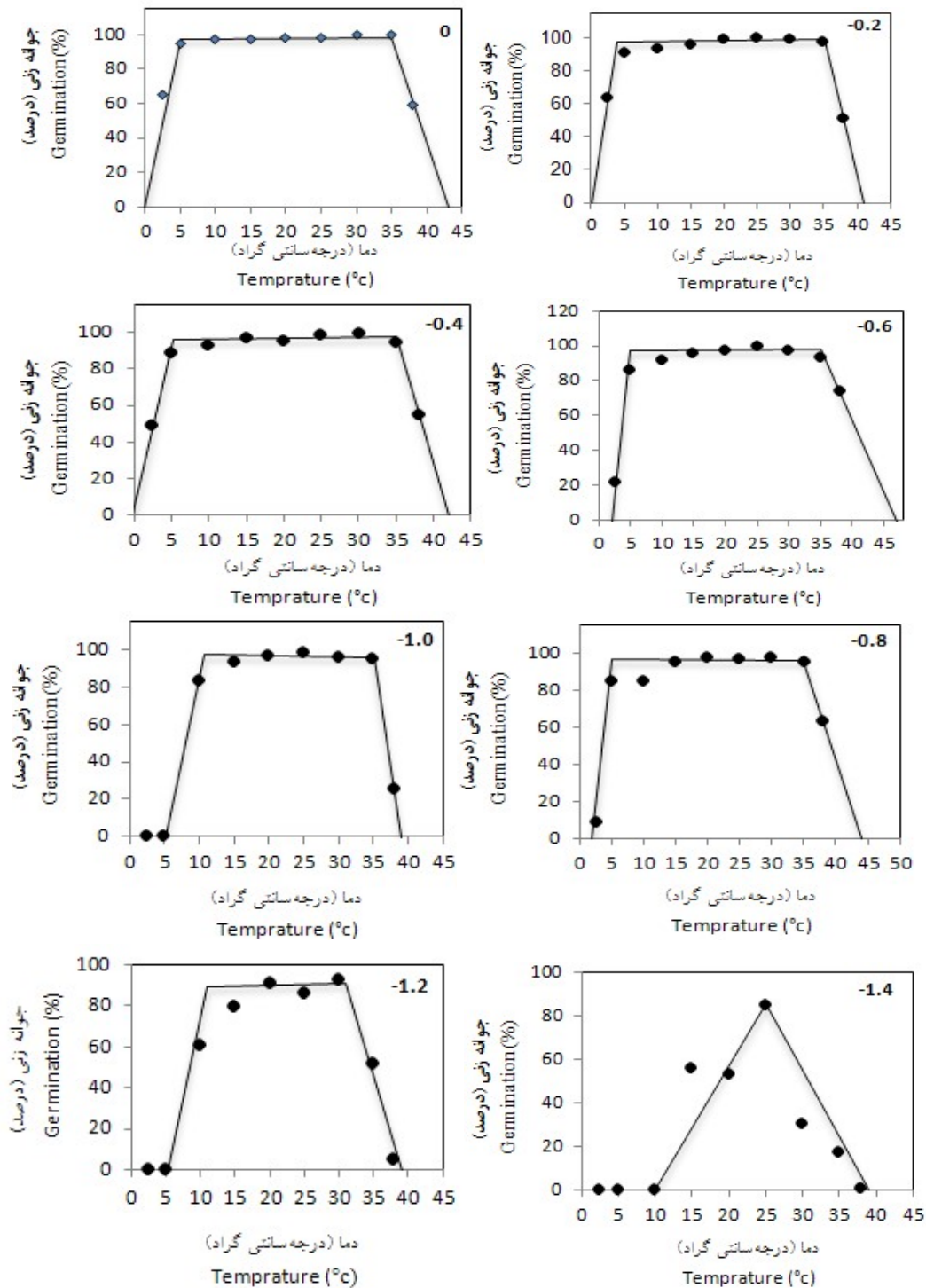


شکل ۱- درصد تجمع جواهرزنی منداب در دما و پتانسیل های مختلف آب

Figure 1. The cumulative germination of Arugula in different temperatures and water potentials

پتانسیل‌های مختلف به‌منظور انتخاب مدل برتر شامل مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2)، ضرایب رگرسیون (a و b) و ضریب همبستگی (r) مربوط به مقادیر ساعت تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده بود که مقادیر این پارامترها در جدول (۱) آورده شده است. با توجه به نتایج جدول ۲ در هیچ یک از پتانسیل‌ها، مقدار انحراف عرض از مبدأ مختصات (ضریب رگرسیون a) خط رگرسیون مدل‌های مختلف معنی‌دار نبود. مقدار اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ (ضریب b)، در مدل دندان‌مانند در پتانسیل‌های صفر، $-0/4$ ، $-0/6$ و $-0/8$ مگاپاسکال، در مدل دوتکه‌ای در پتانسیل‌های صفر، $-0/6$ و $-0/8$ مگاپاسکال، در مدل بتای تغییر یافته $-0/2$ ، $-0/6$ و $-0/8$ مگاپاسکال و در مدل بتای اصلی در پتانسیل‌های صفر، $-0/2$ ، $-0/4$ و $-1/0$ مگاپاسکال در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. همچنین، در مدل بتای اصلی در پتانسیل‌های $-0/6$ و $-0/8$ مگاپاسکال و در مدل دوتکه‌ای در پتانسیل‌های $-1/2$ و $-1/4$ مگاپاسکال در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. ضریب تبیین (R^2) در مدل‌های دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتای اصلی و بتای تغییر یافته به ترتیب $73/62$ درصد، $86/38$ درصد، $91/13$ درصد و $90/13$ درصد بدست آمد. مجذور میانگین مربعات انحراف (RMSE) زمان جوانه‌زنی برای پتانسیل شاهد در مدل دندان‌مانند، دوتکه‌ای، بتای اصلی و بتای تغییر یافته به ترتیب $0/735$ ، $0/59$ ، $46/61$ و $21/27$ محاسبه گردید. با در نظر گرفتن معیارهای تعیین مدل برتر و مقایسه آن‌ها، مدل بتای اصلی در مقایسه با سایر مدل‌های مورد بررسی به‌عنوان مدل برتر انتخاب شد (شکل ۳). محققین در گیاهان مختلف، از توابع رگرسیونی در کمی‌سازی سرعت جوانه‌زنی استفاده کرده‌اند. کامکار و همکاران (Kamkar et al., 2012) پس از بررسی دما-های کاردینال خشخاش (*Papaversomniferum L.*)، مدل دو تکه‌ای را به‌عنوان مدل برتر برای پیش‌بینی روند جوانه‌زنی معرفی کردند. درخشان و همکاران (Derakhshan et al., 2014) مدل دندان‌مانند را به‌عنوان مدل برتر در برآورد روند جوانه‌زنی بذر فالاریس (*Phalaris minor*) گزارش نمودند و دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی را به ترتیب $4/69$ ، $22/6$ ، $29/62$ و $38/13$ درجه سانتی‌گراد برآورد کردند.

دمای 47 و در پتانسیل $-0/8$ مگاپاسکال در دمای 46 ، در پتانسیل‌های $-1/0$ و $-1/2$ مگاپاسکال در دمای 42 درجه سانتی‌گراد به صفر رسید. همچنین، درصد جوانه‌زنی در پتانسیل‌های صفر تا $-0/8$ مگاپاسکال در دماهای کم‌تر از 5 و بیش‌تر از 35 درجه سانتی‌گراد و در پتانسیل‌های $-1/0$ و $-1/2$ مگاپاسکال در دماهای کم‌تر از 10 و بیش‌تر از 30 درجه سانتی‌گراد به‌طور خطی کاهش یافت. با افزایش دما از حد بهینه از درصد و سرعت جوانه‌زنی کاسته می‌شود؛ در واقع در دمای بالا، علاوه‌بر کاهش استحکام پیوندهای هیدروژنی و روابط الکترواستاتیکی بین گروه‌های قطبی پروتئین‌ها در فاز مایع غشا که سبب تغییر ساختار غشای سلولی و نشت یون‌ها از سلول می‌گردد. با ممانعت از فرآیند تنفس می‌تواند بر فرآیند جوانه‌زنی اثر منفی بر جای بگذارد که البته افزایش توأم دما و پتانسیل آب، اثرات منفی شدیدتری بر فرآیند جوانه‌زنی نسبت به اثرات جداگانه هر یک از تیمارهای خشکی و دما خواهد داشت (Hopkins, 1995, Taize and Zeiger, 1998, Khaleghi and Moalemi, 2009). نظریان (Nazariyan, 2015) در مطالعه خود بر روی گیاه نیلوفر پیچ دریافت که در دماهای 10 ، 15 و 35 درجه سانتی‌گراد، جوانه‌زنی فقط در تیمارهای شاهد و پتانسیل آب $-0/2$ مگاپاسکال اتفاق افتاد. در دمای 20 درجه سانتی‌گراد، درصد جوانه‌زنی در پتانسیل صفر 63 درصد بود و با کاهش پتانسیل آب به $-0/6$ مگاپاسکال به 24 درصد کاهش یافت و در پتانسیل آب $-0/8$ مگاپاسکال کاملاً متوقف شد. در دماهای 25 و 30 درجه سانتی‌گراد، جوانه‌زنی در پتانسیل‌های کمتر آب متوقف شد، به‌طوری‌که در پتانسیل $-0/8$ مگاپاسکال در دمای 25 و 30 درجه سانتی‌گراد به ترتیب 25 و 18 درصد جوانه‌زنی مشاهده شد. زاهد و همکاران (Zhang et al., 2005) با مطالعه تأثیر پتانسیل آب و دما بر جوانه‌زنی بذر درمنه (*Artemisia sphaerocephala*) دریافتند که در دماهای پایین‌تر و بالاتر از دمای مطلوب، کاهش پتانسیل آب، تأثیر منفی بیشتری بر سرعت جوانه‌زنی داشت. برای کمی کردن واکنش سرعت جوانه‌زنی به دما در پتانسیل‌های مختلف آب و تعیین دماهای کاردینال جوانه‌زنی از مدل‌های مختلف رگرسیونی استفاده شد. معیارهای مورد استفاده برای مقایسه مدل‌های مختلف برازش داده شده به داده‌های سرعت جوانه‌زنی در برابر دما در



شکل ۲- تأثیر دما بر درصد جوانه‌زنی بذر منداب در پتانسیل‌های مختلف آب

Figure 2. Effect of temperature on germination percent of Arugula in different water potentials

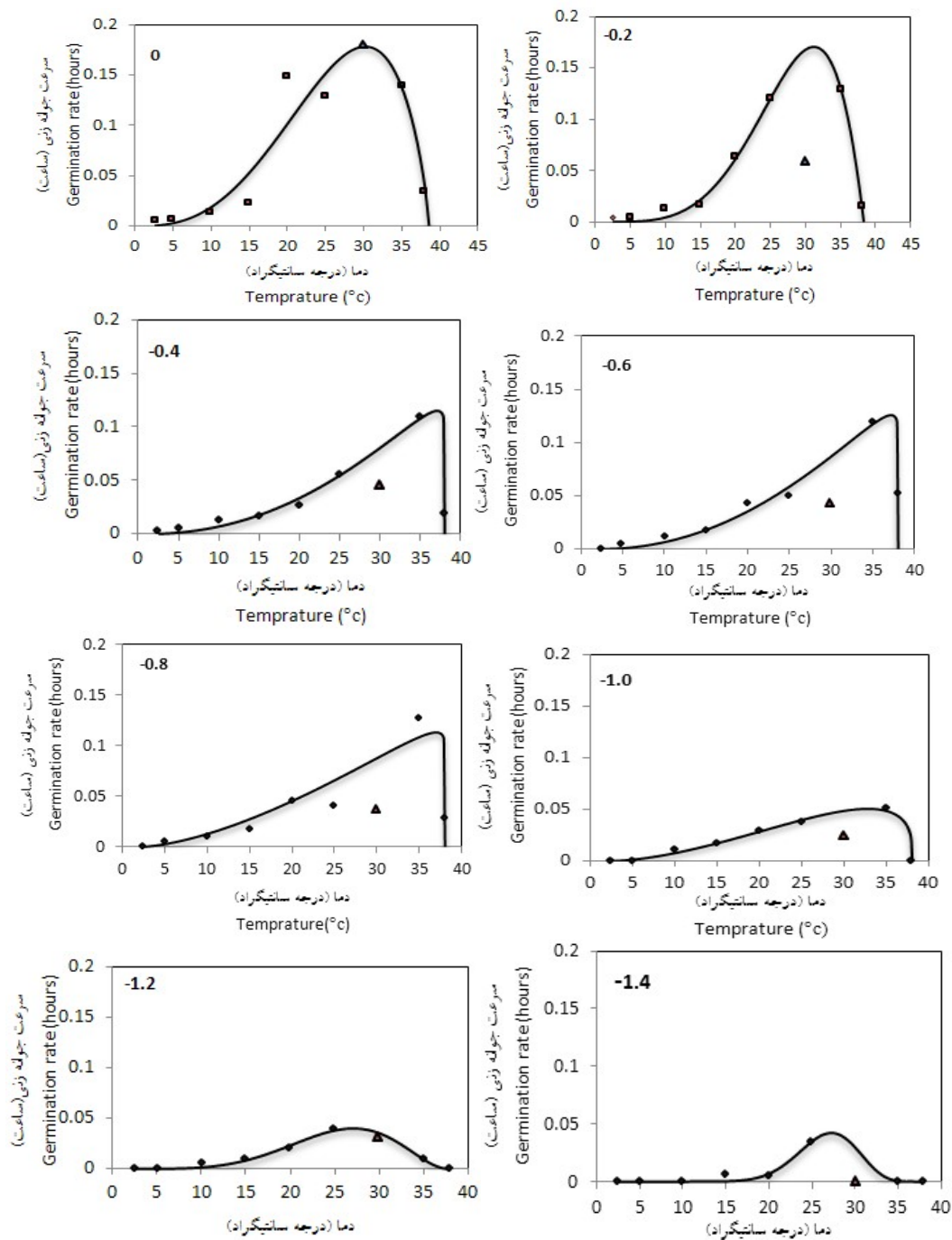
جدول ۱- جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) برای مدل‌های مختلف توصیف‌کننده رابطه سرعت جوانه‌زنی با دما و پتانسیل آب، ضرایب رگرسیونی (a و b) و ضریب همبستگی (r) مربوط به مقادیر ساعت تا جوانه‌زنی مشاهده شده و پیش‌بینی شده برآورد شده است

Table 1. Root mean square error (RMSE), coefficient of determination (R^2) for different models describing the relationship between temperature and water potential on the germination rate, the regression coefficients (a and b) and the correlation coefficient (r) related to amount of hours to germination estimated and predicted

مدل Model	پتانسیل (مگاپاسکال) Potential (mpa)	جذر میانگین مربعات خطا RMSE	ضریب تبیین R^2	ضریب رگرسیونی a±SE	ضریب رگرسیونی b±SE	ضریب همبستگی r
دندان مانند Dent-Like						
	0	7.35	0.82	7.95±4.59	0.12±0.28	0.90
	-0.2	14.27	0.89	4.89±9.79	0.21±0.56	0.94
	-0.4	0.029	0.51	0.018±0.0033	0.00082**±0.0018	0.71
	-0.6	0.0222	0.76	0.014±0.01	0.00064**±0.0025	0.87
	-0.8	7.49	0.84	5.22±3.35	0.103**±0.67	0.92
	-1.0	2.49	0.99	2.19±0.83	0.039±0.96	0.99
	-1.2	20.47	0.90	19.67±9.71	0.19±0.71	0.95
	-1.4	0.0129	0.18	0.0083±0.0035	0.00037**±0.00016	0.43
دوتکه‌ای Segmented						
	0	0.59	0.82	4.52±7.86	0.12**±0.29	0.90
	-0.2	14.27	0.89	9.79±4.85	0.21*±0.56	0.94
	-0.4	10.71	0.88	8.99±0.74	0.19±0.84	0.94
	-0.6	5.53	0.90	3.66±2.93	0.079**±0.68	0.95
	-0.8	7.59	0.85	5.29±3.41	0.104**±0.67	0.92
	-1.0	2.49	0.99	2.12±1.47	0.039±0.95	0.99
	-1.2	20.47	0.90	19.67±9.71	0.19±0.71	0.95
	-1.4	28.68	0.86	35.37±40.82	0.29*±0.22	0.82
بتا (اصلی) Beta (Original)						
	0	46.61	0.87	23.94±33.016	0.35**±2.17	0.93
	-0.2	61.98	0.99	42.53±21.86	0.89**±2.19	0.99
	-0.4	69.36	0.95	42.20±94.82	0.49**±3.87	0.97
	-0.6	16.58	0.72	12.31±14.86	0.25*±1.69	0.85
	-0.8	51.3	0.84	31.03±41.95	0.35*±1.98	0.91
	-1.0	7.21	0.99	6.33±12.63	0.11**±1.39	0.99
	-1.2	201.91	0.98	194.02±184.99	1.91±4.27	0.99
	-1.4	95.08	0.95	117.25±1.42	0.96±0.55	0.97
بتا (تغییر یافته) Beta (modified)						
	0	21.27	0.83	13.26±8.22	1.38±0.36	0.91
	-0.2	254.19	0.99	140.67±241.46	8.74±1.89**	0.99
	-0.4	37.60	0.99	25.80±12.87	1.67±0.54	
	-0.6	8.74	0.98	4.64±14.58	1.70±0.057**	
	-0.8	30.32	0.94	16.87±49.11	2.87±0.203**	0.97
	-1.0	2.47	0.98	2.17±11.55	1.44±0.040**	0.99
	-1.2	150.63	0.88	144.75±119.67	2.94±1.42	0.94
	-1.4	83.58	0.62	38.73±29.99	0.82±0.48	0.79

**در a نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار با صفر و در b نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار با ۱ است.

**presents a significant difference in b presents a significant difference with zero at the one.



شکل ۳- رابطه سرعت جوانه زنی (ساعت) با دما (درجه سانتی گراد) در پتانسیل های مختلف آب با استفاده از مدل بنای

اصلی (شکل مثلث، مربوط به دمای ۳۰ درجه سانتی گراد است که در برازش خط رگرسیون استفاده نشده است)

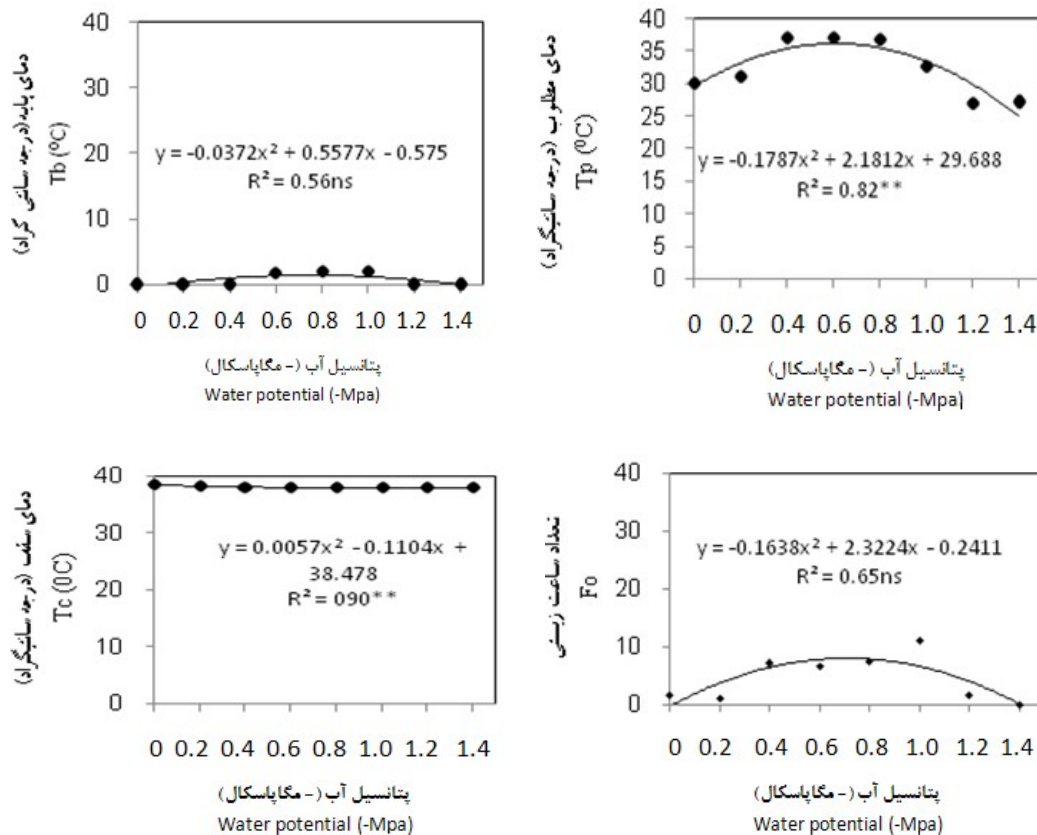
Figure 3. Relationship between germination rate (hours) and temperature (°C) at various water potentials using the Beta Original model (the triangle shape is related to the temperature of 30 °C that not used for the fitting the graph).

جدول ۲- مقادیر دماهای کاردینال و تعداد ساعت زیستی برآورد شده با مدل بتای اصلی در پتانسیل‌های مختلف آب
 Table 2. The cardinal temperatures and number of biological hours estimated using the original beta model in different water potentials

تعداد ساعت زیستی F ₀	دمای سقف T _c	دمای مطلوب T _p	دمای پایه T _b	ضریب ثابت a	پتانسیل (مگاپاسکال) Potential (Mpa)
1.61	38.50	30.13	0.0	2.93	0
1.049	38.33	31.20	0.0	4.48	-0.2
7.03	38.0	37.07	0.0	2.26	-0.4
6.52	38.0	37.13	1.8	2.14	-0.6
7.46	38.0	36.95	2.0	1.58	-0.8
11.04	38.0	32.75	2.0	1.76	-1.0
1.68	38.0	27.15	0.0	5.38	-1.2
0.0045	38.0	27.22	0.0	17.18	-1.4

پایه، دمای مطلوب و دمای سقف را در پتانسیل آب شاهد به ترتیب ۰، ۳۰/۱۳ و ۳۸/۵۰ درجه سانتی‌گراد برآورد کرد.

در جدول (۲) مقادیر برآورد شده دماهای کاردینال و تعداد ساعت زیستی با استفاده از مدل بتای اصلی در پتانسیل‌های مختلف آب ارائه شده است. این مدل دمای



شکل ۴- تأثیر پتانسیل آب (بار) بر دمای پایه، مطلوب و دمای سقف بر حسب درجه سانتی‌گراد و تعداد ساعت زیستی برای ۵۰ درصد جوانه‌زنی بذر منداب برآورد شده با استفاده از مدل بتای اصلی

Figure 4. Effect of water potential on Tb, Tp, Tc (°C) and number of biological hour for 50% germination of Rocket in estimated by original beta model

برای جوانه‌زنی بذر سلمه تره (*Chenopodium album*) را به ترتیب ۴/۲، ۲۶ و ۳۹/۵ برآورد کردند. سهرابی و همکاران (Sohrabi et al., 2013) دماهای پایه، مطلوب و

محققین در تحقیقات خود دماهای کاردینال بسیاری از گیاهان را برآورد و گزارش کرده‌اند. رومن و همکاران (Roman et al., 1999) دماهای پایه، مطلوب و سقف

جنین، کاهش سرعت متابولیسمی بذر، کاهش ترشح هورمون‌ها و فعالیت آنزیم‌ها صورت گرفته است. مدل بتای اصلی، رابطه دما با سرعت جوانه‌زنی منداب را بهتر از سایر مدل‌ها توصیف نمود. با استفاده از این مدل، دماهای کاردینال جوانه‌زنی این گیاه یعنی دمای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی به ترتیب صفر، $30/13$ و $38/50$ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. این گیاه با داشتن دمای پایه مشابه و نزدیک به گیاهان زراعی چون کلزا (دمای پایه $1/8$ درجه سانتی‌گراد) و ارقام مختلف گندم ($2/40-2/90$ درجه سانتی‌گراد) (Khalaj-; Zeinali et al., 2010; Hamidolahdadi et al., 2012) می‌تواند یکی از علف‌های هرز مشکل‌ساز برای این محصولات باشد. با توجه به توانایی قابل توجه منداب در تحمل پتانسیل‌های پایین آب، می‌توان گفت که این گیاه در مناطقی با رطوبت کم نیز از توانایی رقابت بالایی با سایر گیاهان برخوردار است. با در نظر گرفتن تحمل بالای منداب به خشکی و توانایی بالای این گیاه در جوانه‌زنی در محدوده وسیعی از دماها، امکان گسترش و غالبیت آن در بسیاری از مناطق وجود خواهد شد. در مجموع، از نقطه نظر مدیریتی نکته قابل توجه این است که با وجود درصد و سرعت جوانه‌زنی کم و کند منداب در دماهای پایین و از طرفی درصد جوانه‌زنی بالا تا دماهای حدود $38/50$ (دمای سقف)، به نظر می‌رسد کشت‌های زودهنگام گیاهان زراعی نسبت به کشت دیر-هنگام از جهت به تأخیر انداختن جوانه‌زنی و به تبع کاهش دادن رقابت منداب برتری داشته باشند.

سپاسگزاری

نویسندگان از خانم دکتر معصومه صالحی به خاطر همکاری ایشان در تهیه بذر منداب تشکر می‌نمایند.

و سقف جوانه‌زنی علف‌هرز فیکاریا را به ترتیب صفر، ۸ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد محاسبه نمودند. گویلیمین و همکاران (Guillemin et al., 2012) دماهای پایه، مطلوب و سقف جوانه‌زنی سوروف (*Echinochloa crus-galli*) را به ترتیب ۱۰، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی‌گراد برآورد نمودند. دماهای کاردینال جوانه‌زنی، به استثنای دمای پایه، تحت تأثیر پتانسیل آب قرار گرفتند. همچنین، تغییر پتانسیل آب اثر معنی‌داری بر تعداد ساعت زیستی جوانه‌زنی بذر منداب نداشت (شکل ۴). قنبری و همکاران (Ghanbari et al., 2005) بیان کردند که دماهای کاردینال جوانه‌زنی متأثر از شرایط رطوبتی هستند. در این آزمایش دمای پایه جوانه‌زنی شیرین بیان (*Glycyrrhiza glabra* L.) با کاهش پتانسیل آب، افزایش یافت. دمای پایه خردل وحشی (*Sinapis arvensis* L.) در پتانسیل آب صفر حدود $2/9$ - درجه سانتی‌گراد بود و با کاهش پتانسیل آب دمای پایه به تدریج افزایش یافت و در پتانسیل آب $0/6$ - مگاپاسکال به حدود ۲ درجه سانتی‌گراد رسید. تغییرات دمای مطلوب نسبت به تغییر پتانسیل آب کمتر از دمای پایه بود (Soltani et al. 2013). بخشنده و همکاران (Bakhshandeh et al., 2011) بیان کردند که دمای پایه گاوپنبه با کاهش پتانسیل آب، افزایش یافت.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که دما و پتانسیل آب تأثیر معنی‌داری بر مؤلفه‌های جوانه‌زنی منداب داشتند؛ به طوری که با کاهش پتانسیل آب، درصد و سرعت جوانه‌زنی کاهش یافت. علت کاهش درصد و سرعت جوانه‌زنی، به طور عمده از کاهش جذب آب و افزایش یون‌ها در اطراف بذر ناشی می‌شود و این عوامل از طریق تأثیر بر انتقال ذخایر دانه و سنتز پروتئین‌ها در

منابع

- Bakhshandeh, E., Ghadiriyan, R., Galeshi, S. and Soltani, E. 2011. Modeling the effects water stress and temperature on seed germination of soybean (*Glycine max* L.) and velvetleaf (*Abutilon theophrasti* Med.). International Journal of Plant Production, 18(1): 29-48. (Journal)
- Boydak, M., Dirik, H., Tilki, F. and Calikoglu, M. 2003. Effects of water stress on germination in six provenances of *Pinus brutia* seeds from different bioclimatic zones in Turkey. Turkish Journal of Agriculture, 27: 91-97. (Journal)
- Chauhan, B.S., Gill, G. and Preston, C. 2006. Factors affecting seed germination of annual sowthistle (*Sonchus oleraceus*) in southern Australia. Weed Science, 54: 854-860. (Journal)

- Deihimfard, R. 2004. Enhancing performance evaluation of morpho-physiological properties of some wheat cultivars under broadleaf weeds compete with Rocket (*Eruca sativa* Mill.). MSc. Thesis. University of Aburairhan, Tehran. (In Persian)(**Thesis**)
- Derakhshan, A., Gherekhloo, J., Vidal, R.A. and De-Prado, R. 2014. Quantitative description of the germination of Littleseed Canarygrass (*Phalaris minor*) in response to temperature. *Weed Science*, 62(2): 250-257. (**Journal**)
- Food and Agriculture Organization. 2007. Statistics: FAOSTAT agriculture. from <http://fao.org/crop/statistics>. (**Website**)
- Ghanbari, A., Rahimian Mashhadi, H., Nassiri Mahallati, M., Kafi, M. and Rastgoo, M. 2005. Ecophysiological aspects of Liquorice (*Glycyrrhiza glabra* L.) germination under different temperatures. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 3(2): 263-275. (In Persian)(**Journal**)
- Ghaderifar, F., Alimagham, S.M., Rezaeimoghadam, H. and Haghghi, M. 2012. Influence of environmental factors on seed germination and seedling emergence of rye (*Secale cereale* L.) as a volunteer plant in wheat fields. *Journal of Crop Production*, 5 (4): 121-133. (In Persian)(**Journal**)
- Guillemin, J.P., Gardarin, A., Granger, S., Reibel, C., Munier-Jolain, N. and Colbach, N. 2012. Assessing potential germination period of weeds with base temperatures and base water potentials. *Weed Research*, 53: 76-87. (**Journal**)
- Hopkins, W.G. 1995. Introduction to Plant Physiology. John Wiley & Sons, New York, 464p. (**Book**)
- Jafar-Nejad, A. and Rahimain, H. 2003. Study of competition between wheat (*Triticum aestivum*) cultivars, Wild Oat (*Avena fatua*) and Rocket (*Eruca sativa*). *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 10(1): 39-54. (In Persian)(**Journal**)
- Jam-Nezhd, M., Baghestani, M.A., Zand, E. and Bihamta, M.R. 2007. Study of competitive power of rivaled and unrivaled cultivar of Wheat (*Triticum aestivum* L) in different density of wheat and Rocket (*Eruca sativa* Mill). *Agricultural Sciences*, 15: 20-29. (In Persian)(**Journal**)
- Jam-Nezhd, M., Baghestani, M.A., Zand, E. and Bihamta, M.R. 2009. Investigating the possibility of reducing dose of herbicide to control Rocket (*Eruca sativa* Mill) using a powerful competitive wheat cultivars (*Triticum aestivum* L). *Journal of New Agricultural Sciences*, 5 (16): 1-8. (In Persian)(**Journal**)
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., Mahdavi-damghani, A. and Villalobos, F.J. 2012. Quantification of the cardinal temperatures and thermal time requirement of opium poppy (*Papaver somniferum* L.) seeds to germination using non-linear regression models. *Industrial Crops and Products*, 35: 192-198. (**Journal**)
- Kebreab, E. and Murdoch, A.J. 1999. A model of effects of a wider range of constant and alternating temperatures on seed germination of four Orobanches species. *Annals of Botany*, 84: 549-557. (**Journal**)
- Khalaj-Hamidolahdadi, E., Iran Nezhad, H., Akbari, Q., Minbashi, M. and Baghestani, M.A. 2012. Estimates of cardinal temperatures by using regression models of Canola and four common weed. *Journal of Agroecology*, 2(1): 21-31. (In Persian)(**Journal**)
- Khaleghi, E. and Moalemi, N. 2009. Effect of different levels of salinity and temperature on seed germination of Cocks Comb (*Celosia argentea*). *Journal of plant production*, 16(1): 149-163. (In Persian)(**Journal**)
- Khakshur-Moghadam, Z., Lahuti, M. and Ganjali, A. 2011. Investigation of drought stress effects to poly ethylene glycol on germination and morphological characteristic of *Anethum graveolens*. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 25(2): 185-193. (In Persian)(**Journal**)
- Kiyani, A. 2015. Investigation of environmental factors on the seed germination of morning glory (*Ipomoea* spp.). MSc. Thesis. Islamic Azad University, Branch of Gorgan. (In Persian)(**Thesis**)
- Koger, C.H., Reddy, K.N. and Poston, D.H. 2004. Factors affecting seed germination, seedling emergence and survival of texasweed (*Caperonia palustris*). *Weed Science*, 52: 989-995. (**Journal**)

- Lu, P., Sang, W. and Ma, K. 2006. Effects of environmental factors on germination and emergence of Crofton weed (*Eupatorium adenophorum*). Weed Science, 54: 452-457. **(Journal)**
- Michel, B.E. and Kaufmann, M.R. 1973. The osmotic potential of polyethylene glycol 6000. Plant Physiology, 51: 914-916. **(Journal)**
- Nazariyan, Z. 2015. Effect of temperature, light, drought and interactions between them on seed germination and seedling growth of morning glory (*Ipomoea* spp.). MSc. Thesis. Islamic Azad University, Branch of Gorgan. (In Persian)**(Thesis)**
- Rashed-Mohassel, M.H., Najafi, H. and Akbarzadeh, M. 2000. Biology and Control of Weeds. Ferdowsi University Publications, Mashhad. 404 p. (In Persian)**(Book)**
- Roman, E.S., Thomas, A.G., Murphy, S.D. and Swanton, C.G. 1999. Modeling Germination and seedling elongation of common lambsquarters (*Chenopodium album*). Weed Science, 47:149-155. **(Journal)**
- Salimi, H. and Fereydoon-pour, M. 2013. Investigating the effect of environmental factors on seed germination of *Hirschfeldia incana* (L.). Journal of Weed Research, 5(1): 71-84. (In Persian)**(Journal)**
- Samsam-Shariat, H. 2007. Selection of Medicinal Herbs. Mani Publishing, Isfahan, Iran. (In Persian)**(Book)**
- Shirdel, M. 2014. Effect of temperature, light, drought and interaction between them on seed germination and seedling growth of *Cleome viscosa* L. MSc. Thesis. Islamic Azad University, Branch of Gorgan. (In Persian)**(Thesis)**
- Sohrabi, S., Rashed Mohasel, M.H., Nasiri Mahalati, M. and Mosavi, S.K. 2013. Determination of germination cardinal temperatures and alternative temperature on tubers germination of *Ficaria verna* weed (*Ranunculus ficaria*). Iranian Journal of Field Crops Research, 10: 643-648. (In Persian)**(Journal)**
- Soltani, A. and Maddah, V. 2010. Simple, Applied Programs for Education and Research in Agronomy. Niak Press, Iran, 80 p. (In Persian)**(Book)**
- Soltani, A. 2007. Application of SAS in Statistical Analysis. 2nd ed. Mashhad Jahad Daneshgahi Press, Mashhad, Iran, 182 p. (In Persian)**(Book)**
- Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. and Latifi, N. 2002. Germination, seed reserve utilization and seedling growth of chickpea as affected by salinity and seed size. Seed Science and Technology, 30: 51-60. **(Journal)**
- Soltani, A., Robertson, M.J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M. and Sarparast, R. 2006. Modeling seedling emergence in chickpea as affected by temperature and sowing depth. Agricultural and Forest Meteorology, 138: 156-167. **(Journal)**
- Soltani, E., Soltani, A., Galeshi, S., Ghaderifar, F. and Zeinali, E. 2013. Seed germination modeling of wild mustard (*Sinapis arvensis* L.) as affected by temperature and water potential: hydrothermal time model. Journal of Plant Production, 20(1): 19-33. (In Persian)**(Journal)**
- Sun, W., Pan, Q., Liu, Z. and Meng, Y. 2005. Overcoming self-incompatibility in *Eruca sativa* by chemical treatment of stigmas. Plant Genetic Resources, 3(1): 13-18. **(Journal)**
- Susko, D.J. and Hussein, Y. 2008. Factors affecting germination and emergence of dame's rocket (*Hesperis matronalis*). Weed Science, 56: 389-393. **(Journal)**
- Tabrizi, L., Nasiri Mahallati, M. and Kochaki, A. 2004. Investigation on the cardinal temperature for germination of *Plantago ovate* and *Plantago psyllium*. Iranian Journal of Field Crops Research, 2: 143-151. (In Persian)**(Journal)**
- Taize, L. and Zeiger, E. 1998. Plant Physiology. Second edition Sinauar Associates, Incorporated Publications Massachusetts, 675p. **(Book)**
- Zafariyan, M. 2014. Evaluation of base, optimum and ceiling temperature for *Amaranthus retroflexus* with application of five parameters-Beta model. International of Basic Science and Applied Research, 3: 11-16. **(Journal)**
- Zeinali, E., Soltani, A., Galeshi, S. and Sadat, S.J. 2010. Cardinal temperatures seed germination response to temperature and thermal tolerance in Wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Plant Production, 3(11):23-42. **(Journal)**

Zheng, Y., Xie, Z., Gao, Y., Jiang, L., Xing, X., Shimizu, H. and Rimmington, M.G. 2005. Effects of light, temperature and water stress on germination of *Artemisia sphaerocephala*. *Annals of Applied Biology*, 146: 327–335. **(Journal)**



Non-linear regression evaluation of Arugula (*Eruca sativa* Mill.) germination rate to temperature and water stress

Batool NezhadHassan¹, Asieh Siahmarguee^{*2}, Ebrahim Zeinali³, Farshid Ghaderifar⁴, Elyas Soltani⁵

Received: December 28, 2015

Accepted: May 2, 2016

Abstract

This study aimed to evaluate the non-linear regression model (Beta-original, Beta-modified, segmented and Dent-like Models) to describe the germination rate of Arugula (*Eruca sativa* Mill.) in response to temperature and water potential. Experimental treatments arranged as factorial based on a completely randomized design with four replications in Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources in 2013. Temperature treatments were at 9 levels (2.5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 and 38° C) and water potentials comprised of 8 levels (0, -0.2, -0.4, -0.6, -0.8, -1.0, -1.2- and -1.4 Mpa). To quantify the response of germination rate to temperature and determine cardinal temperatures for germination, Beta-original, and Beta-modified, segmented and Dent-like models were used. The Beta-original model better described germination rate to temperature levels compared to other models. According to this model the base temperature, optimum temperature, and ceiling temperatures were 0.0, 30.13 and 38.50 °C respectively in non-water stress conditions (zero potential). Water potential significantly effected optimum and ceiling temperature but had no significant effect on base temperature and biological hours.

Key words: Biological hours; Drought stress; Germination index; Regression models

How to cite this article

NezhadHassan, B., Siahmarguee, A., Zeinali, E., Ghaderifar, F. and Soltani, E. 2017. Evaluation of nonlinear regression models to description germination rate of Arugula (*Eruca sativa* Mill.) to temperature and water potential. Iranian Journal of Seed Science and Research, 4(2): 1-16. (In Persian)(Journal)

DOI: [10.22124/jms.2017.2494](https://doi.org/10.22124/jms.2017.2494)

COPYRIGHTS

Copyrights for this article are retained by the author(s) with publishing rights granted to the Iranian Journal of Seed Science and Research

The content of this article is distributed under Iranian Journal of Seed Science and Research open access policy and the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY4.0) License. For more information, please visit <http://jms.guilan.ac.ir/>

1,2,3- MSc Student of Agronomy, Assistant Professor and Associated Professor, Department of Agronomy, College of Crop Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran, respectively

4- Assistant Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Agriculture and Natural Resources Campus, Tehran University, Varamin, Iran

*Corresponding Author: siahmarguee@gau.ac.ir