



علوم و تحقیقات بذر ایران
سال پنجم / شماره دوم / ۱۳۹۷ (۳۶ - ۲۳)

DOI: 10.22124/jms.2018.2908

ارزیابی مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی برای توصیف واکنش ظهور گیاهچه عدس (*Lens culinaris Medik*) به دما

سمانه رهبان^{۱*}، قربانعلی رسام^۲، بنیامین ترابی^۳، اصغر خوشنود یزدی^۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۹/۱۹

چکیده

این تحقیق با هدف تعیین دماهای کاردینال و روز بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه عدس با استفاده از مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی انجام گرفت. برای این منظور آزمایش مزرعه‌ای با چند تاریخ کاشت به صورت طرح کرت‌های خرد شده با سه تکرار اجرا گردید. بذره‌های سه رقم عدس (گچساران، بیله سوار، کیمیا) در ۱۲ تاریخ کاشت، کشت شدند. رابطه بین سرعت ظهور گیاهچه و دما با استفاده از مدل‌های بتا، دندان مانند و دو تکه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از شاخص‌های آماری جذر میانگین مربع انحرافات (RMSD)، ضریب همبستگی (r)، ضریب تغییرات (CV) و ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b) استفاده شد. نتایج برازش مدل‌ها نشان داد که واکنش ظهور گیاهچه عدس به دما به وسیله تابع دو تکه‌ای بهتر توصیف می‌شود. با استفاده از مدل برتر دمای پایه ارقام از ۱/۲۷- تا ۱/۶۲- درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب ظهور گیاهچه بسته به رقم بین ۲۳/۱۵ تا ۲۵/۹۲ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف ۳۰ درجه سانتی‌گراد براساس دمای هوا برآورد گردید. مقایسه پارامترهای برآورده شده با استفاده از مفهوم حدود اطمینان در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داد که به لحاظ دمای پایه و دمای مطلوب اختلاف معنی‌داری بین ارقام عدس وجود نداشت ولی از نظر روز بیولوژیک اختلاف بین ارقام معنی‌دار بود. نیاز روز بیولوژیکی برای ارقام بیله‌سوار، گچساران و کیمیا به ترتیب ۶/۹۹، ۸/۵۶ و ۸/۸۷ بود. اطلاعات حاصل از این تحقیق می‌تواند در پیش‌بینی ظهور گیاهچه ارقام عدس مفید باشد. مهم‌ترین نتیجه کاربردی این تحقیق این بود که واکنش ظهور گیاهچه عدس به دما با استفاده از تابع دو تکه‌ای به بهترین شکل قابل توصیف است و بنابراین از این مدل و پارامترهای حاصل از آن می‌توان در پیش‌بینی ظهور گیاهچه در ارقام مورد نظر عدس استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: دما، ظهور گیاهچه، عدس، مدل‌های ریاضی

۱- دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲ و ۴- استادیار مجتمع آموزش عالی شیروان

۳- استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

* نویسنده مسئول: samaneh.rahban@yahoo.com

مقدمه

جوانه‌زنی بذر و ظهور گیاهچه از مراحل حساس و مهم در چرخه زندگی گیاهان به‌شمار می‌روند (Windauer *et al.*, 2007). اگر چه جوانه‌زنی بذر با حداکثر سرعت و بیشترین درصد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، با این وجود در شرایط مزرعه جوانه‌زنی بذرهای زیر خاک بایستی با ظهور موفقیت‌آمیز در سطح خاک نیز همراه باشد. ظهور گیاهچه از مراحل بسیار مهم فنولوژی گیاه می‌باشد و خصوصاً در موفقیت در عملکرد گیاهان یک‌ساله بسیار تأثیرگذار است. ظهور گیاهچه زمانی اتفاق می‌افتد که وابستگی گیاهچه به منابع بذری قطع شده و منابع تولیدی به فرآیند فتوسنتز وابسته شود. ظهور گیاهچه در مزرعه شامل دو فرآیند بیولوژیکی جوانه‌زنی بذر (نفوذ ریشه‌چه در پوسته بذر) و طویل شدن ریشه‌چه و ساقچه‌چه می‌باشد که هر فرآیند نیاز به شرایط خاصی دارند. رشد پس از جوانه‌زنی در دامنه دمایی محدودی اتفاق می‌افتد که بر اساس گونه و شرایط فیزیولوژیکی بذر متغیر است (Benech-Arnold *et al.*, 2000). ظهور سریع، یکنواخت و کامل گیاهچه‌ها سبب ایجاد پتانسیل عملکرد بالا به‌وسیله کوتاه شدن زمان بین کاشت تا پوشش کامل زمین می‌گردد.

شرایط محیطی دمای خاک یکی از عوامل تعیین کننده میزان و سرعت استقرار گیاهچه‌ها است (Soltani *et al.*, 2002). سرعت استقرار گیاهچه و یا به طور کلی سرعت نمو گیاه در محدوده دماهای کاردینال (دماهای پایه، مطلوب و سقف) متفاوت است در دمای پایه و کمتر از آن، سرعت نسبی نمو برابر صفر می‌باشد. با افزایش دما از دمای پایه به بعد، سرعت نسبی نمو رو به افزایش می‌گذارد و در دمایی به نام دمای مطلوب تحتانی به حداکثر مقدار خود می‌رسد. با افزایش بیشتر دما تا رسیدن به دمای مطلوب فوقانی سرعت نسبی نمو ثابت می‌ماند. افزایش دما در فراتر از این حد باعث کاهش سرعت نسبی نمو می‌گردد و سرانجام در دمای سقف به صفر می‌رسد (Torabi *et al.*, 2013). سرعت ظهور گیاهچه با افزایش دما تا دمای مطلوب افزایش و بعد از آن کاهش می‌یابد (Soltani *et al.*, 2008). جلیلیان و همکاران (Jalilian *et al.*, 2004) گزارش نمودند که دماهای کاردینال وابسته به گونه گیاهی بوده و ممکن است اختلاف بین ارقام در درون گونه‌ها نیز مشاهده گردد.

درک واکنش جوانه‌زنی بذر و ظهور گیاهچه نسبت به دما و تخمین دماهای کاردینال به منظور طراحی مدل‌های پیش‌بینی کننده ظهور گیاهچه، انتخاب تاریخ کاشت مناسب، ساخت مدل‌های نمو فنولوژیک، غربال کردن ارقام برای تحمل به دماهای پایین و بالا و تعیین نواحی جغرافیایی که در آنجا گونه‌ها یا ارقام بتوانند با موفقیت ظهور و استقرار یابند، مفید است (Jama and Cutforth, 2004).

برای توصیف الگوی ظهور گیاهچه در واکنش به دما، مدل‌های ریاضی متعددی ارائه شده است (Ellis *et al.*, 1986). در این میان مدل‌های رگرسیون خطی و غیرخطی به‌واسطه دقت زیاد در برآورد دماهای کاردینال و ارائه پارامترهایی با مفهوم فیزیولوژیک از اهمیت بسزایی برخوردار هستند (Soltani *et al.*, 2008). مدل دندان‌مانند و بتا برای مدل‌سازی ظهور گیاهچه نخود نسبت به دما استفاده شده است (Soltani *et al.*, 2006). کمی‌سازی سرعت ظهور گیاهچه نخود نسبت به دما با توابع بتا، درجه دوم و تابع منحنی نیز انجام شده است (Yousefi-Daz *et al.*, 2006). از مدل بتا برای بررسی رابطه بین سرعت جوانه‌زنی گندم و دما استفاده گردید (Addae and Pearson, 1992). در آفتابگردان (Mwale *et al.*, 1994)، تره ایرانی (Ramin, 1997) و شیدر زیرزمینی (Akram-Ghadri *et al.*, 2001) مدل‌های دوتکه‌ای مورد استفاده قرار گرفت. در آویشن خراسانی نشان داده شد که در مقایسه با خطوط متقاطع، مدل ۵- پارامتری بتا بهترین برآورد را برای جوانه‌زنی بذرهای توده طبیعی آویشن خراسانی دارد (Tabrizi *et al.*, 2007). در توصیف واکنش ظهور گیاهچه ارقام کلزا به دما نتیجه گرفته شد که سه مدل بتا، دوتکه‌ای و منحنی نسبت به سایر مدل‌ها از کارایی بیشتری برخوردار بودند (Jafari *et al.*, 2011). همچنین دماهای کاردینال جوانه‌زنی در ژنوتیپ‌های نخود با استفاده از مدل دندان‌مانند برآورد گردید (Ganjeali *et al.*, 2011). ترابی و همکاران (Torabi *et al.*, 2013) با استفاده از توابع دوتکه‌ای، بتا و دندان‌مانند واکنش جوانه‌زنی ارقام مختلف گلرنگ نسبت به دما را بررسی کردند که تابع دوتکه‌ای به عنوان تابع برتر شناخته شد. همچنین ترابی و سلطانی (Torabi and Soltani, 2012) برای کمی کردن واکنش ظهور گیاهچه نخود به دما از تابع دندان

مانند استفاده کردند که دمای پایه این گیاه بر اساس این مدل ۴/۵ درجه سانتی‌گراد، دمای مطلوب تحتانی و فوقانی به ترتیب ۲۰/۲ و ۲۹ درجه سانتی‌گراد و دمای سقف ۳۹ درجه سانتی‌گراد برآورد شدند. (Ajam Norouzi et al., 2007) برای واکنش ظهور گیاهچه باقلا نسبت به دما از توابع بتا، دوتکه‌ای، منحنی، درجه دو و دندنان مانند استفاده کردند و نتایج نشان داد که واکنش ظهور گیاهچه باقلا نسبت به دما، به وسیله تابع دوتکه‌ای بهتر از سایر مدل‌ها توصیف می‌گردد. برآورد دمای کاردینال توسط تابع دوتکه‌ای نشان داد که برای ارقام باقلا دمای پایه ۰/۹۸ تا ۱/۶۱ درجه سانتی‌گراد و دمای مطلوب از ۲۴/۹۹ تا ۲۸/۸ درجه سانتی‌گراد در نوسان بود و دمای سقف برای همه ارقام ۳۵ درجه سانتی‌گراد برآورد گردید.

عدس (*Lens culinaris Medik.*) به‌عنوان مهم‌ترین حبوبات تحت کشت در کشور محسوب شده به طوری که بعد از نخود بیشترین سطح زیر کشت حبوبات را به خود اختصاص داده است (Bagheri et al., 1998). این گیاه با دارا بودن ۲۳ تا ۳۲ درصد پروتئین دارای ارزش غذایی زیادی می‌باشد. علاوه بر این به‌واسطه توانایی تثبیت نیتروژن نقش ویژه‌ای در حاصلخیزی خاک برای کشت‌های بعدی دارد. در ایران کشت عدس اغلب در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور و به‌صورت دیم انجام می‌گیرد. در این مناطق دما در زمان کاشت از مهم‌ترین عوامل مؤثر در جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه به شمار می‌روند. تعیین دماهای کاردینال و کمی کردن واکنش ظهور گیاهچه در برابر دما می‌تواند در انتخاب ارقام سازگار به یک محیط در پیش‌بینی مراحل نمو مفید باشد (Soltani et al., 2006; Torabi et al., 2013). بنابراین تحقیق حاضر با اهداف انتخاب تابع برتر در بین توابع دوتکه‌ای، دندنان مانند و بتا برای توصیف واکنش سرعت ظهور گیاهچه ارقام مختلف عدس به دما، تخمین و گزارش پارامترهای تابع برتر (دماهای کاردینال) و روز بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای با چند تاریخ کاشت در مزرعه تحقیقاتی مجتمع آموزش عالی شیروان (با عرض جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۰۶۷ متری از

سطح دریا، میانگین بارندگی ۲۱۷/۵) انجام شد. مقدار کود مصرفی ۲۰۰ کیلوگرم کود فسفات آمونیوم و ۱۰۰ کیلوگرم اوره در هکتار بود. آزمایش طی آبان ماه ۱۳۹۱ تا آبان ماه ۱۳۹۲ انجام شد. بذره‌ای سه رقم عدس (گچساران، بیله سوار، کیمیا) در ۱۲ تاریخ کاشت، کشت شدند. رقم گچساران (یا ILL6037 از یکاردا) از ارقام اصلاحی عدس می‌باشد که به عنوان رقمی پر محصول و زودرس برای کشت در شهرستان گچساران و مناطق مشابه آب و هوایی در سال ۱۳۷۸ توسط مؤسسه تحقیقات دیم کشور معرفی شده است. رقم اصلاح شده کیمیا به نام FLIP 92-12L نیز شناخته می‌شود. لاین FLIP 92-12L از تلاقی دو لاین ILL5582 (با مبدأ اردن) و ILL707 (با مبدأ تونس) در مرکز بین‌المللی یکاردا به دست آمده است که به‌واسطه مقاومت به بیماری برق‌زدگی و امکان کشت انتظاری در سال ۱۳۸۸ توسط مؤسسه تحقیقات کشاورزی دیم معرفی شده است. رقم بیله‌سوار (لاین ILL6037) به عنوان رقمی جدید در سال ۱۳۹۱ توسط دکتر صباغ‌پور در همدان معرفی شد که مقاوم به بیماری فوزاریوم، پر محصول و دانه درشت است و قابلیت کشت در مناطق معتدل سرد و معتدل را دارا می‌باشد. بذور رقم گچساران و کیمیا از ایستگاه تحقیقات کشاورزی برزل‌آباد شیروان و بذور رقم بیله‌سوار از مرکز تحقیقات کشاورزی همدان تهیه شد. هر سه بذور از طبقه گواهی‌شده تولید سال ۹۱ بودند. وزن هزار دانه برای بذره‌ای گچساران، بیله‌سوار و کیمیا به ترتیب ۵۵/۲۷، ۵۳/۴۲ و ۴۱/۹۹ گرم بود. کاشت در تاریخ‌های (روز سال میلادی) ۲۳ آبان (۳۱۸)، ۱۹ آذر (۳۴۴)، ۱۸ دی (۷)، ۱۸ بهمن (۳۷)، ۲۷ اسفند (۷۶) ۱۳۹۱، ۲۳ فروردین (۱۰۲)، ۸ خرداد (۱۴۹)، ۳۱ خرداد (۱۷۲)، ۲۶ تیر (۱۹۸)، ۲۷ مرداد (۲۳۰)، ۳۰ شهریور (۲۶۴) و ۳ آبان (۲۹۸) ۱۳۹۲ انجام شد. این تاریخ‌های کاشت جهت ایجاد شرایط دمایی متفاوت طی ظهور گیاهچه بذره‌ای عدس انتخاب گردید. طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار بود که تاریخ‌های کاشت به عنوان کرت‌های اصلی و ارقام به عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شده بودند. اندازه کرت‌ها ۳×۲ متر بود. کشت به صورت دستی و با تراکم ۱۰۰ بوته در متر مربع، فاصله ردیف ۲۰ سانتی‌متر و عمق کاشت ۴ سانتی‌متر صورت گرفت. تعداد گیاهچه‌های

۱- تابع دندان مانند^۱ با علامت اختصاری (D) که معادله آن به صورت زیر است:

معادله (۲)

$$\text{اگر } T_b < T \leq T_{o1}$$

$$f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_{o1} - T_b)}$$

$$\text{اگر } T_{o2} < T \leq T_c$$

$$f(T) = \frac{(T_c - T)}{(T_c - T_{o2})}$$

$$\text{اگر } T_{o1} < T \leq T_{o2}$$

= ۱

$$\text{اگر } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

= ۰

۲- تابع دو تکه‌ای^۲ با علامت اختصاری (S) که معادله آن به صورت زیر است:

$$T_b < T \leq T_o \quad \text{معادله (۳)}$$

$$\text{اگر } f(T) = \frac{(T - T_b)}{(T_o - T_b)}$$

$$T_o \leq T < T_c$$

$$\text{اگر } f(T) = \left[1 - \left(\frac{T - T_o}{T_c - T_o} \right) \right]$$

$$\text{اگر } T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

= ۰

۳- تابع بتا^۳ با علامت اختصاری (B) که معادله آن به صورت زیر است:

معادله (۴)

$$f(T) = \left[\left(\frac{T - T_b}{T_o - T_b} \cdot \frac{T_c - T}{T_c - T_b} \right)^{\alpha} \left(\frac{T_c - T_o}{T_o - T_b} \right) \right]^{\alpha}$$

که در این توابع T_b دمای پایه، T_{o1} دمای مطلوب تحتانی، T_{o2} دمای مطلوب فوقانی، T_o دمای مطلوب، T_c دمای سقف، T متوسط دمای هوا (دمای مورد آزمایش) و α پارامتری است که میزان انحنای تابع بتا را نشان می‌دهد. توابع درجه دوم، درجه سوم و منحنی (Hammer et al., 1989) نیز به داده‌ها برازش داده شد اما از آنجایی که تابع بتا این توابع را نیز پوشش می‌داد بنابراین نتایج مربوط به آنها آورده نشده است.

ظاهر شده به طور روزانه در کاشت‌های اوایل بهار، پاییز و زمستان و دو بار در روز در کاشت‌های اواخر بهار و تابستان از دو ردیف یک متری در وسط هر کرت تا زمان پایان ظاهر شدن گیاهچه‌ها ثبت گردید. بذرهایی به عنوان بذر سبز شده در نظر گرفته شدند که بخشی از گیاهچه آن‌ها در سطح خاک قابل مشاهده بود (Soltani et al., 2006). قابل ذکر است در تاریخ کاشت‌های ۱۹ آذر و ۱۸ دی به علت دمای بسیار پایین بذور کشت شده سبز نشدند، لذا این تاریخ کاشت‌ها از محاسبات حذف گردید. خصوصیات فیزیکی خاک در لایه ۳۰ سانتی‌متری فوقانی، به ترتیب شامل ۲۴، ۶۰ و ۱۶ درصد رس، سیلت و شن بود. میزان مواد آلی خاک ۰/۸۶ و وزن مخصوص ظاهری خاک ۱/۵۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. pH و EC آن به ترتیب ۸ و ۶/۲ اندازه‌گیری شد. کرت‌های آزمایش به طور مرتب و در حد مناسبی آبیاری گردید و هیچ‌گونه کمبود آب یا شرایط غرقابی وجود نداشت.

دماهای هوای حداقل و حداکثر روزانه از ایستگاه هواشناسی شیروان تهیه شد. همچنین چندین مورد دمای خاک در عمق ۴ سانتی‌متری (از لحاظ رطوبتی، خاک در حد ظرفیت زراعی قرار داشت) و دمای هوا به صورت همزمان توسط دماسنج طی دوره آزمایش برای برآورد رابطه دمای هوا و دمای خاک اندازه‌گیری شد. در پایان آزمایش برای هر تکرار منحنی پیشرفت ظهور گیاهچه در مقابل زمان (روز) ترسیم شد و زمان لازم برای رسیدن به ۵۰ درصد ظهور گیاهچه از طریق درون‌یابی برآورد گردید. سرعت ظهور گیاهچه (R_{50})، معادل معکوس زمان تا ۵۰ درصد ظاهر شدن گیاهچه‌ها در نظر گرفته شد (Torabi et al., 2013).

برای کمی‌سازی واکنش ظهور گیاهچه به دما و تعیین دماهای کاردینال از مدل زیر استفاده شد:

$$R_{50} = f(T)/e_0 \quad \text{معادله (۱)}$$

که در آن R_{50} سرعت ظهور گیاهچه، $f(T)$ تابع دما که مقدار آن بین صفر تا یک است و e_0 تعداد ساعت بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه می‌باشند. پارامتر e_0 در حقیقت نشان‌دهنده حداقل ساعت مورد نیاز برای ظهور گیاهچه در دمای مطلوب است و بنابراین $1/e_0$ حداکثر سرعت ظهور گیاهچه در دمای مطلوب را نشان می‌دهد. از سه تابع زیر به عنوان تابع دمایی در معادله (۱)

استفاده گردید (Soltani et al., 2006).

1. Dent-like
2. Segmented
3. Beta

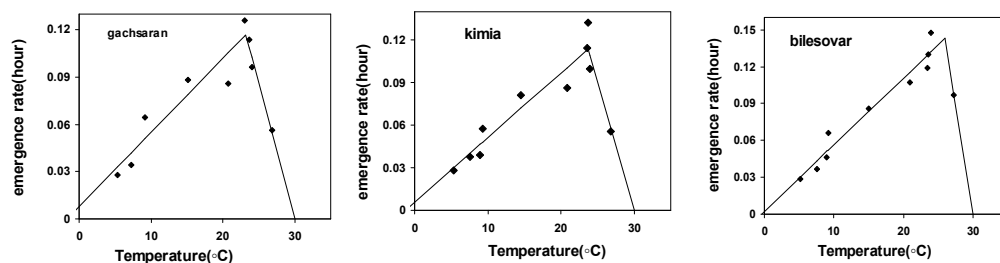
$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum(O_i - S_i)^2}{(n-1)}} \quad (\text{معادله } 5)$$

که در آن n تعداد جفت مقادیر مورد استفاده در محاسبه، S_i مقدار پیش‌بینی شده و O_i مقدار مشاهده یا اندازه‌گیری شده است. در بین ارقام، برای مقایسه پارامترهای برآورده شده توسط مدل برتر از حدود اطمینان ۹۵ درصد استفاده گردید (Rezaei and Soltani, 2007).

نتایج و بحث

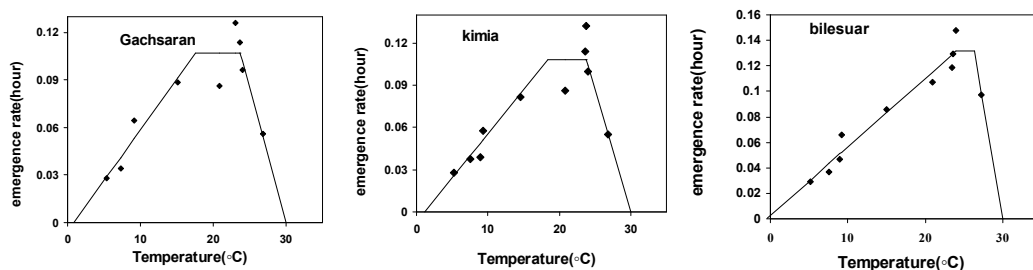
در این مطالعه از سه مدل پرکاربرد دوتکه‌ای، دندان‌مانند و بتا برای کمی‌سازی واکنش سرعت ظهور گیاهچه ارقام مختلف عدس در پاسخ به دما استفاده شد (شکل ۱، ۲ و ۳).

برآورد پارامترهای هر تابع با روش مطلوب سازی تکراری به کمک رویه NLIN نرم‌افزار SAS ver. 9.1 صورت گرفت. در این روش با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن با روش کمترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامترها به دست آید. بهترین برآورد از پارامترهای مدل بر اساس SE (خطای معیار) کمتر پارامترها و RMSE (جذر میانگین مربعات اشتباه) کمتر تجزیه رگرسیون مشخص شد. برای انتخاب مدل برتر از میان مدل‌های مختلف از شاخص‌های آماری شامل RMSD (جذر میانگین مربع انحرافات)، r (ضریب همبستگی)، CV (ضریب تغییرات) و مقایسه ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b) با صفر و یک استفاده شد. برای محاسبه RMSD از معادله زیر استفاده شد (Soltani et al., 2006).



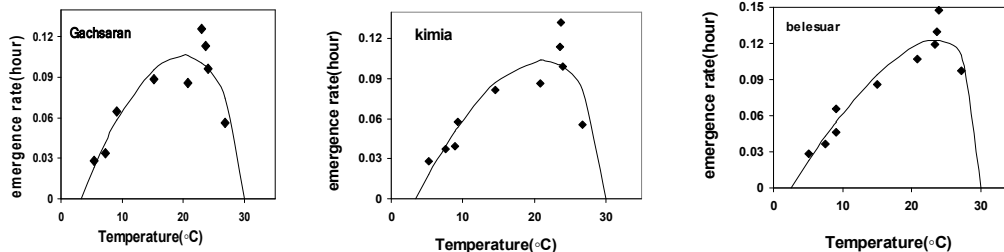
شکل ۱- برازش مدل دو تکه‌ای برای توصیف واکنش سرعت ظهور گیاهچه به دما در سه رقم عدس

Figure 1- Fitting of segmented models to describe response of emergence rate to temperature in three lentil cultivars



شکل ۲- برازش مدل دندان‌مانند برای توصیف واکنش سرعت ظهور گیاهچه به دما در سه رقم عدس

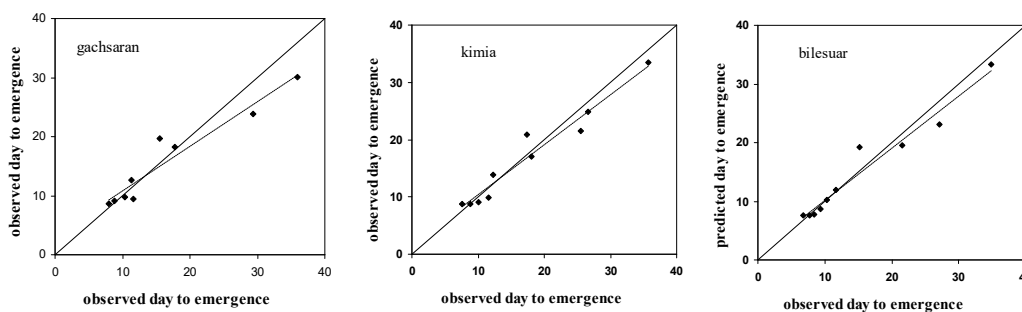
Figure 2. Fitting of dent-like model for description response of emergence rate to temperature in three lentil cultivars



شکل ۳- برازش مدل بتا برای توصیف واکنش سرعت ظهور گیاهچه به دما در سه رقم عدس

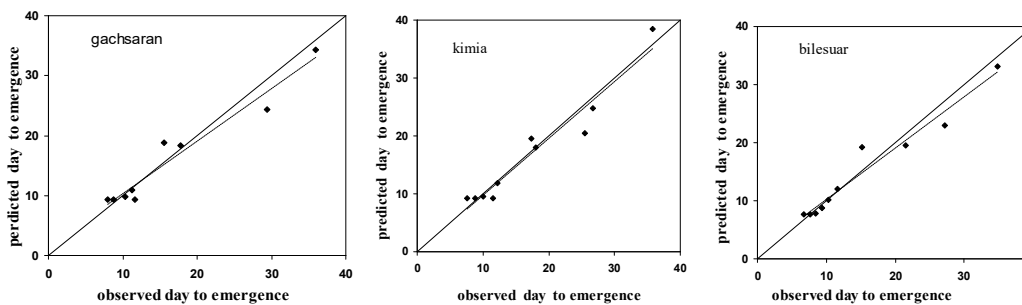
Figure 3. Fitting of beta model for description response of emergence rate to temperature in three lentil cultivars

شاخص‌های آماری مربوط به برازش مدل‌ها بر داده‌های ظهور گیاهچه در جدول (۱) ارائه شده است. تعداد روز تا ظهور گیاهچه پیش‌بینی شده در مقابل تعداد روز تا ظهور گیاهچه مشاهده شده نیز در شکل (۴، ۵ و ۶) نشان داده شده است.



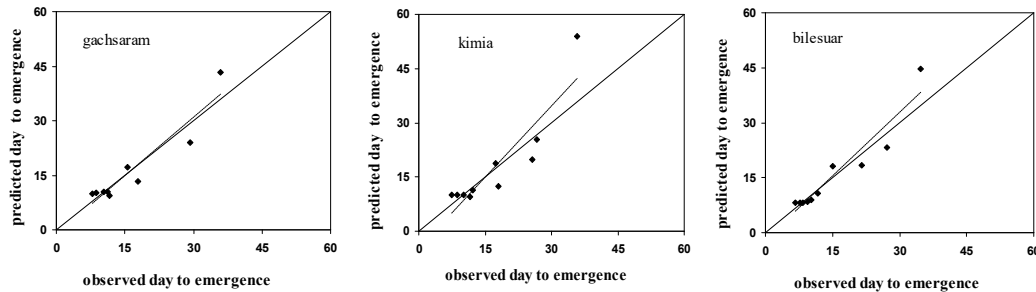
شکل ۴- زمان تا ظهور گیاهچه پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده در سه رقم عدس با استفاده از تابع دو تکه‌ای که توصیف کننده واکنش سرعت ظهور گیاهچه به دمای هوا است. خط تیره نشان دهنده خط ۱:۱ می باشد. خط رگرسیون تابع نیز نشان داده شده است

Figure 4. Predicted vs. observed hours to emergence in three lentil cultivars using segmented functions to describe response of emergence rate to temperature. The solid line is a 1:1 line. Regression lines of functions are also indicated



شکل ۵- زمان تا ظهور گیاهچه پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده در سه رقم عدس با استفاده از تابع دندان‌مانند که توصیف کننده واکنش سرعت ظهور گیاهچه به دمای هوا است. خط تیره نشان دهنده خط ۱:۱ می باشد. خط رگرسیون تابع نیز نشان داده شده است

Figure 5. Predicted vs. observed hours to emergence in three lentil cultivars using dent-like functions to describe response of emergence rate to temperature. The solid line is a 1:1 line. Regression lines of functions are also indicated



شکل ۶- زمان تا ظهور گیاهچه پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده در سه رقم عدس با استفاده از تابع بتا که توصیف کننده واکنش سرعت ظهور گیاهچه به دمای هوا است. خط تیره نشان‌دهنده خط ۱:۱ می‌باشد. خط رگرسیون تابع نیز نشان داده شده است

Figure 6. Predicted vs. observed hours to emergence in three lentil cultivars using beta functions to describe response of emergence rate to temperature. The solid line is a 1:1 line. Regression lines of functions are also indicated

(شکل ۴). معنی‌دار بودن ضریب a بدین مفهوم است که عرض از مبدا خط رگرسیون با عرض از مبدا خط ۱:۱ مطابقت ندارد و مفهوم معنی‌داری ضریب b این است که شیب خط رگرسیون با شیب خط ۱:۱ مطابقت ندارد به عبارتی خط رگرسیون نسبت به خط ۱:۱ دارای اریب می‌باشد (Soltani *et al.*, 2006; Akram-Ghadri *et al.*, 2008; Torabi and Soltani, 2012).

ملاحظه می‌گردد پیش‌بینی بر پایه توابع برای ارقام، به جز تابع دوتکه‌ای برای رقم گچساران دارای انحراف معنی‌داری نمی‌باشد. انحرافات به‌وسیله معنی‌دار شدن ضرایب a و b در رگرسیون خطی بین تعداد روز تا ظهور گیاهچه مشاهده شده و روز تا ظهور گیاهچه پیش‌بینی شده نشان داده می‌شود (جدول ۱). ضرایب a و b به ترتیب بیانگر مقدار انحراف خط رگرسیون از مبدا مختصات و مقدار اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ می‌باشد

جدول ۱- جذر میانگین مربع انحرافات (RMSD)، ضریب تغییرات (CV) و ضریب همبستگی (r) برای مدل‌های مختلف توصیف کننده رابطه سرعت ظهور گیاهچه با دمای هوا در سه رقم عدس. ضرایب رگرسیون (a و b) برای رابطه بین سرعت ظهور گیاهچه مشاهده شده و پیش‌بینی شده نیز آورده شده‌اند.

Table 1. Root mean square of deviation (RMSD), coefficient of variation (CV) and coefficient of determination (R^2) for the relationship between emergence rate (R_{50}) and temperature in three lentil cultivars described by various functions. Regression coefficients (a and b) for the relationship between observed and predicted times to emergence are also indicated

	RMSD	CV	R	$a \pm S.E.$	$b \pm S.E.$
مدل دوتکه‌ای					
Segment model					
Gachsaran گچساران	3.36	20.36	0.97	3.31 ± 1.58	$0.75 \pm 0.054^*$
Kimia کیمیا	2.24	12.91	0.97	1.65 ± 1.36	0.87 ± 0.07
Bilesovr بیله سوار	2.16	14.10	0.97	1.30 ± 1.22	0.89 ± 0.069
مدل دندان مانند					
Dent-Like model					
Gachsaran گچساران	3.43	14.74	0.97	1.68 ± 1.48	0.87 ± 0.08
Kimia کیمیا	2.39	13.74	0.96	0.079 ± 1.75	0.99 ± 0.09
Bilesovr بیله سوار	2.19	14.33	0.97	1.40 ± 1.21	0.88 ± 0.07
مدل بتا					
Beta model					
Gachsaran گچساران	3.82	23.15	0.94	-1.26 ± 2.74	0.074 ± 0.15
Kimia کیمیا	6.79	38.78	0.89	-4.82 ± 4.45	1.32 ± 0.23
Bilesovr بیله سوار	3.88	25.39	0.95	-1.96 ± 2.35	1.16 ± 0.13

بتا نشان داد که این تابع جهت استفاده در مدل سازی ظهور گیاهچه بذره‌های عدس مناسب نیست. بنابراین این مدل کنار گذاشته شد و به ارزیابی دو مدل دندان‌مانند و دوتکه‌ای پرداخته شد.

تخمین دماهای کاردینال و روز بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه حاصل از برازش هر سه مدل در (جدول ۲) ارائه شده است.

RMSE (بین ۳/۸۲۲ تا ۶/۷۹۴ ساعت) و ضریب تغییرات (بین ۲۳/۱۴۸ تا ۳۸/۸۶۵ درصد) بالا برای تابع

جدول ۲- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای سقف (T_c)، دمای مطلوب تحتانی (T_{o1})، دمای مطلوب فوقانی (T_{o2})، ضریب (a) و تعداد روز بیولوژیک (e_0) مورد نیاز برای ظهور گیاهچه سه رقم عدس با مدل های دوتکه‌ای، بتا و دندان مانند

Table 2. Estimate of base temperature (T_b , °C), optimum temperature (T_o , °C), Ceiling temperature (T_c , °C), lower optimum temperature, (T_{o1} , °C), upper optimum temperature (T_{o2} , °C), shape parameter (a) and minimum physiological day requirement (e_0), for emergence of three lentil genotypes using segmented, beta and dent-like models.

مدل دوتکه‌ای		T_b	T_o	T_c	e_0
Segment model					
گچساران Gachsaran		-1.63±2.64	23.16±0.58	30	8.56±0.53
کیمیا Kimia		-1.27±2.14	23.77±0.55	30	8/78±0.45
بیله سوار Bilesovar		-0.42±1.46	25.92±0.39	30	6.99±0.27
مجموع ارقام Total		-1.31±1.79	24.61±0.69	30	8.14±0.37
مدل بتا	a	T_b	T_o	T_c	e_0
Beta model					
گچساران Gachsaran	۱	3.31±1.69	19.89±1.60	30	9.40±0.84
کیمیا Kimia	۱	3.44±1.97	20.97±1.98	30	9.60±0.89
بیله سوار Bilesovr	۱	2.58±1.58	23.48±1.68	30	8.17±0.41
مجموع ارقام Total	۱	1.17±1.61	21.52±0.65	30	9.12±0.62
مدل دندان مانند	T_b	T_{o1}	T_{o2}	T_c	e_0
Dent-Like model					
گچساران Gachsaran	0.85±2.61	17.57±2.79	23.70	30	9.33±0.57
کیمیا Kimia	1.18±2.89	18.35±3.56	23.78±0.91	30	9.23±0.72
بیله سوار Bilesovr	-0.51±1.53	23.90±1.87	26.30	30	7.61±0.47
مجموع ارقام Total	0.86±2.62	19.27±3.29	25.03±0.97	30	8.84±0.96

انجام گیرد پارامترهای برآورده شده با هر سه مدل ارائه شده است (جدول ۱).

بعضی از محققین کارایی توابع مختلف در توصیف روابط بین سرعت رشد و نمو نسبت به دما را مقایسه کردند، به عنوان مثال سلطانی و همکاران (Soltani *et al.*, 2006) نشان دادند که تابع دندان‌مانند، تأثیر دما بر سرعت ظهور گیاهچه نخود را بهتر از توابع دوتکه‌ای و بتا توصیف می‌کند. کامکار و همکاران (Kamkar *et al.*, 2012) گزارش کردند که تابع دوتکه‌ای پیش‌بینی بهتری از جوانه‌زنی خشخاش نسبت به تابع دندان‌مانند و بتا داشت. ترابی و همکاران (Torabi *et al.*, 2013) برای جوانه‌زنی گلرنگ از توابع دوتکه‌ای، دندان‌مانند و بتا

دو مدل دندان‌مانند و دوتکه‌ای در بسیاری از شاخص‌های آماری نظیر مقادیر RMSD، r و CV به خصوص برای دو رقم کیمیا و بیله‌سوار مشابه بودند (جدول ۱). با این وجود در رقم گچساران مدل دندان‌مانند کارایی بیشتری نشان داد. از طرفی با توجه به این که در این رقم برای برازش مدل دندان‌مانند به داده‌های سرعت ظهور گیاهچه در مقابل دما، دمای مطلوب فوقانی و دمای سقف ثابت در نظر گرفته شده بود. همچنین برآورد پارامترهای مدل دوتکه‌ای با دقت بیشتری برآورد شده (SE کمتر)، حاکی از توصیف بهتر مدل دوتکه‌ای نسبت به مدل دندان‌مانند می‌باشد. بدین ترتیب مدل نهایی و برتر، مدل دوتکه‌ای بود. برای این که مقایسه‌ای بین مدل‌ها

پایه ارقام تأکید نموده‌اند. ویرجیل و همکاران (Vigil et al., 1997) نشان دادند که بین دمای پایه در پنج رقم کلزا تنوع وجود دارد.

در آزمایش حاضر بین دمای مطلوب ظهور گیاهچه اختلاف معنی‌داری بین ارقام مشاهده نشد. دمای مطلوب ظهور گیاهچه بسته به رقم بین ۲۳/۱۵ تا ۲۵/۹۲ درجه سانتی‌گراد برآورد شد. سلطانی (Soltani, 2006) دمای بهینه ظهور گیاهچه ارقام نخود را ۲۰ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد گزارش کرده است. الیس و همکاران (Ellis et al., 1987) نشان دادند که دمای مطلوب برای ظهور گیاهچه ارقام مختلف لوبیای معمولی بین ۲۰ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. دمای بهینه برای ظهور گیاهچه بذر باقلا را ۲۷ درجه سانتی‌گراد به دست آوردند. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2006 b) دمای بهینه ظهور گیاهچه ژنوتیپ‌های مختلف نخود در گرگان را ۲۷/۶ تا ۳۰/۴ درجه سانتی‌گراد معرفی کردند.

روز بیولوژیک ظهور گیاهچه بیان‌گر حداقل زمان مورد نیاز برای ظهور گیاهچه در دمای مورد نظر است. روز بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه رقم بیله‌سوار در مدل دو تکه‌ای دارای اختلاف با دو رقم دیگر بود. در تحقیق بر روی باقلا مشخص گردید که از نظر تعداد روزهای بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه بین ارقام مورد بررسی اختلاف معنی‌دار وجود دارد (Ajam Norouzi et al., 2007). تعداد روز بیولوژیک لازم از کاشت تا ظهور گیاهچه نخود ۶ روز (Soltani et al., 2006) گزارش شده بود.

در مدیریت و تصمیم‌گیری‌های زراعی در اکثر موارد از دمای هوا استفاده می‌شود. با این حال، جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه در شرایط عدم تنش رطوبتی به طور مستقیم تحت تأثیر دمای خاک قرار می‌گیرد (Anda and Peter., 1994). بعد از کاشت مطلوب بودن دمای خاک برای جوانه‌زنی سریع و ظهور گیاهچه ضروری است (Kerby et al., 1989). در این دماها، جوانه‌زنی به دلیل طولیل شدن سریع‌تر ریشه‌چه و ساقه‌چه زودتر شروع می‌شود و نیز سریع‌تر ادامه می‌یابد (Warrington and Kanemasa, 1983). از این رو، برآورد دماهای کاردینال بر حسب دمای خاک ضروری به نظر می‌رسد. برای محاسبه دماهای کاردینال بر حسب دمای خاک در عمق ۴ سانتی‌متری، از رابطه بین دمای هوا و دمای خاک در عمق ۴ سانتی‌متری

استفاده کردند و نتایج نشان داد که تابع دوتکه‌ای بهتر از دو تابع دیگر بود.

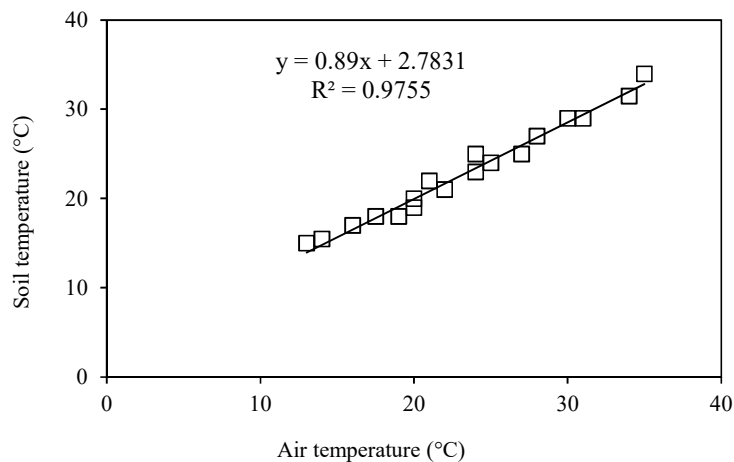
در بسیاری از تحقیقات مدل دوتکه‌ای به عنوان مدلی مناسب برای توصیف رابطه دما و فرآیندهای رشد نظیر جوانه‌زنی و ظهور گیاهچه شناخته شده است. برای مثال در ذرت (Olsen et al., 1993)، آفتابگردان (Mwale et al., 1994)، تره ایرانی (Ramin, 1997)، نخود (Ellis et al., 1986; Covell et al., 1986)، شبدر زیرزمینی (Akram-Ghadri et al., 2001)، بقولات (Robertson et al., 2002)، باقلا (Ajam Norouzi et al., 2007) و کلزا (Jafari et al., 2011) از این تابع استفاده شده است.

با این وجود از مدل‌هایی متفاوت با مدل دوتکه‌ای نیز برای توصیف اثر دما بر رشد و نمو گیاهان استفاده شده است. در بررسی بر روی نخود، دو تابع بتا و دندانمانند مناسب‌ترین مدل‌ها برای توصیف واکنش ظهور گیاهچه نخود به دما معرفی شدند (Soltani et al., 2006). در مورد جوانه‌زنی کدو تخم کاغذی، تابع بتا به عنوان بهترین تابع شناخته شد (Akram-Ghadri et al., 2008). تابع بتا در مطالعات دیگری نیز مدل برتر معرفی شده بود (Yin et al., 1995; Jame and Cutforth, 2004). تخمین دماهای کاردینال و ساعت بیولوژیک مورد نیاز برای ظهور گیاهچه بر اساس دما در جدول (۲) ارائه شده است. بر اساس مدل برتر دوتکه‌ای، دمای پایه گچساران، کیمیا و بیله‌سوار بر حسب دما به ترتیب ۱/۶۲-، ۱/۲۷- و ۰/۴۶- درجه سانتی‌گراد برآورد شد. بین ارقام به لحاظ دمای پایه تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در مطالعه بر روی گیاهان خانواده حبوبات مانند نخود (Soltani et al., 2006) و باقلا (Ajam Norouzi et al., 2007) نیز تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد آزمایش به لحاظ دمای پایه ظهور گیاهچه گزارش نشد. سلطانی و همکاران (Soltani et al., 2006b) بین ارقام نخود تفاوت معنی‌داری از نظر دمای پایه برای ظهور گیاهچه نیافتند. در تحقیق ترابی و سلطانی (Torabi and Soltani., 2001) بر روی نخود مدل دندانمانند هیچ اختلاف معنی‌داری را در دمای پایه ارقام مختلف برای ۵۰ درصد ظهور گیاهچه در جمعیت نشان نداد.

اگر چه بیشتر مطالعات بر ثابت بودن دمای پایه در بین ارقام اشاره دارد ولی مطالعاتی نیز بر تنوع در دمای

بین متوسط دمای هوا و متوسط دما در عمق ۴ سانتی متری خاک (مقدار $R^2=0.98$) وجود دارد.

استفاده شد که در شکل (۷) قابل مشاهده می باشد (این رابطه با توجه به اندازه گیری های انجام شده در مزرعه تحقیقاتی در طول دوره آزمایش به دست آمده است). چنانچه از شکل استنباط می شود یک رابطه خطی قوی



شکل ۷- رابطه بین متوسط دمای روزانه هوا با متوسط دما در عمق ۴ سانتیمتری خاک محل آزمایش
 Figure 7. The relationship between the average daily air temperature and the average temperature at a depth of 4 cm

حرارتی لازم برای شروع ظهور گیاهچه و درصد ظهور گیاهچه افزایش می یابد. گرین و همکاران (Green *et al.*, 2000) اثر دمای خاک در محدوده ۵ تا ۲۰ درجه سانتی گراد را بر غلاف کانولا بررسی کرده و اظهار داشتند که جوانه زنی و رشد گیاهچه این گیاه در دماهای پایین بسیار متغیر و کند بود و افزایش دما جوانه زنی و زمان تا ظهور گیاهچه بسیار سریعتر و یکنواخت تر شد.

اوال و ایکادا (Awal and Ikada, 2002) با بررسی اثرات دمایی خاک بر روی ظهور گیاهچه و نمو فنولوژی بادم زمینی نتیجه گرفتند که با افزایش دما، سرعت و درصد ظهور گیاهچه افزایش می یابد به طوری که به ازای هر یک درجه سانتی گراد افزایش در دمای خاک سرعت ظهور گیاهچه بادم زمینی حدود ۱/۴ روز تقویمی جلو می افتد. آنها دریافتند که با کاهش دمای خاک میزان زمان

جدول ۳- برآورد دمای پایه (T_b)، دمای مطلوب (T_o)، دمای سقف (T_c) محاسبه شده برای دما در عمق ۴ سانتیمتری خاک برای ظهور گیاهچه سه رقم عدس با مدل دو تکه ای

Table 2. Estimate of base temperature (T_b , °C), optimum temperature (T_o , °C), Ceiling temperature (T_c , °C), The temperature at a depth of 4 cm for emergence of three lentil genotypes using segmented model

مدل دو تکه ای Segment model	T_b	T_o	T_c
گچساران Gachsaran	1.34	23.39	29.48
کیمیا Kimia	1.66	23.94	29.48
بیله سوار Bilesovr	2.48	25.86	29.48
مجموع ارقام Total	1.62	24.68	29.48

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که واکنش ظهور گیاهچه سه رقم عدس مورد بررسی به دما با استفاده از تابع دوتکه‌ای به بهترین شکل قابل توصیف است. بنابراین از این مدل و پارامترهای حاصل از آن می‌توان در پیش‌بینی ظهور گیاهچه بذر عدس استفاده نمود. دمای پایه ظهور گیاهچه برای ارقام بین ۱/۶۳- تا ۰/۴۲- و دمای مطلوب بین ۲۳/۱۵ تا ۲۵/۹۲ درجه سانتی‌گراد بود. بین ارقام به لحاظ دمای پایه و دمای مطلوب اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد و هر سه رقم مورد بررسی در این آزمایش برای شرایط آب و هوایی این منطقه سازگار می‌باشند. تعداد ساعت بیولوژیک لازم برای ظهور گیاهچه در رقم بیله‌سوار کمترین مقدار را به خود اختصاص داد (۶/۹۹ روز) که نشان‌دهنده سرعت ظهور بالاتر این رقم می‌باشد.

جدول (۳) دماهای کاردینال مورد نیاز برای ظهور گیاهچه بر اساس دمای خاک در عمق ۴ سانتی‌متری را در مدل برتر دوتکه‌ای نشان می‌دهد. بر این اساس، دمای پایه ظهور گیاهچه در ارقام گچساران، کیمیا و بیله‌سوار به ترتیب ۱/۳۴، ۱/۶۶ و ۲/۴۸ برآورد شد و دمای مطلوب ظهور گیاهچه در این ارقام به ترتیب ۲۳/۲۳، ۲۳/۲۳، ۲۳/۲۳ و ۲۵/۸۶ محاسبه شد. دامنه تغییرات دمای پایه مجموع ارقام بر حسب دما در عمق ۴ سانتی‌متری خاک بیشتر از دمای پایه برآورد شده بر حسب دمای هوا می‌باشد. البته تفاوت معنی‌داری بین ارقام مورد نظر در دمای پایه بر مبنای هر دو روش مشاهده نشد. دمای مطلوب بر حسب دمای هوا و دمای مطلوب بر حسب دما در عمق ۴ سانتی‌متری خاک تقریباً مشابه بود. همچنین دمای سقف به دست آمده بر اساس دمای خاک و دمای هوا تفاوت زیادی با یکدیگر نداشتند (جدول ۳).

منابع

- Addae, P. C. and Pearson, C. J. 1992. Thermal requirements for germination and seedling growth of wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 43: 585-594. **(Journal)**
- Ajam Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E. and Homaei, M. 2007. Modeling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 14(4): 100-111. (In Persian)**(Journal)**
- Akram Ghaderi, A., Soltani, A. and Sadeghipour, H. R. 2008. Evaluation of nonlinear regression models in quantifying germination rate of medicinal pumpkin (*Cucurbita pepo*. convar. *pepo* var. *styriaca*). In: Abstract Book of the 1rd Iranian Seed Science and Technology Symposium, November 13-14, 2008. Gorgan. (In Persian)**(Conference)**
- Akram-Ghadri, F., Galeshi, S., Sadati, S. J. and Kashiri, A. 2001. Determination of cardinal temperature in *Trifolium auberraneum* L. *Journal of Pajouhesh and Sazandegi*, 53: 36-39. (In Persian)**(Journal)**
- Alvarado, V. and Bradford, K. J. 2002. A hydrothermal time model explains the cardinal temperatures for seed germination. *Plant Cell Environment*, 25: 1061-1069. **(Journal)**
- Anda, A. and Piter, L. 1994. Sorghum germination and development as influenced by soil temperature and water content. *Agronomy Journal*, 86: 621-624. **(Journal)**
- Awal, M. A. and Ikada, T. 2002. Effects of change in soil temperature on seedling emergence a phonological in field-grown stands of peanut (*Arachis hypogaea* L.). *Environmental and Experimental Botany*, 47: 101-113. **(Journal)**
- Bagheri, A., Goldani, M. and Hassanzadeh, M. 1998. Agronomy and plant breeding of lentil (translation). Mashhad University Jihad Publications, 284 p. (In Persian)**(Journal)**
- Benech-Arnold, R. L., Sanchez, R. A., Forcella, F., Kruk, B. C. and ghera, C. M. 2000. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. *Field Crops Research*, 67: 105-122. **(Journal)**
- Covell, S., Ellis, R. H., Roberts, E. H. and Summerfield, R. J. 1986. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. I. A comparison of chickpea, lentil, soybean and cowpea at constant temperatures. *Journal of Experimental Botany*, 37: 705-715. **(Journal)**
- Ellis, R. H., Simon, G. and Covell, S. 1987. The influence of temperature on seed germination rate in grain legumes. III. A comparison of five fob bean genotypes at constant temperatures using a new screen method. *Journal of Experimental Botany*, 38: 1033-1043. **(Journal)**

- Ganjeali, A., Parsa, M. and Amiri-Deh-Ahmadi, S. R. 2011. Determination of cardinal temperatures and thermal time requirement during germination and emergence of chickpea genotypes (*Cicer arietinum L.*). Iranian Journal of Pulses Research, 2(2): 97-108. (In Persian)(**Journal**)
- Hammer, G. L., Vaderlip, R. L., Gibson, G., Wade, L. J., Henzell, R. G., Younger, D. R., Warren, J. and Dale, A. B. 1989. Genotype by environment interaction in grain sorghum. II. Effects of temperature and photoperiod on ontogeny. Journal of Crop Science, 29: 376-384. (**Journal**)
- Jafari, N., Esphehani, M. and Sabori, A. 2011. Evaluation of nonlinear regression models for description of seedling appearance rate of three canola cultivars to temperature. Journal of Iranian Crop Sciences, 42(4): 857-868. (In Persian)(**Journal**)
- Jalilian, A., Mazaheri, D., Tavakkol Afshari, R., Rahimian, H., Abdollahian Nighabi, M. and Ghohari, J. 2004. Estimation of base temperature, germination and seedling emergence in different temperatures in monogerm sugar beet genotypes. Journal of Sugar Beet, 20(2): 97-112. (In Persian) (**Journal**)
- Jame, Y. W. and Cutforth, H. W. 2004. Simulating the effects of temperature and seeding depth on germination and emergence of spring wheat. Agriculture and Forest Meteorology, 124: 207-218. (**Journal**)
- Kamkar, B., Jami Al-Ahmadi, M., Mahdavi-Damghani, A. and Villalobos, F. J. 2012. Quantification of the poppy (*Papaver somniferum L.*) seeds to germinate using non-linear regression models. Cardinal temperatures and thermal time requirement of opium. Industrial and Crops 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**)
- Kerby, T. A., Keely, M. and Johnson, S. 1989. Weather and seed quality variables to predict cotton seedling emergence. Agronomy Journal, 81: 415-419. (**Journal**)
- Mwale, S. S., Azam-Ali, S. N., Dark, J. A., Bradley, R. G. and Chatha, M. R. 1994. Effect of temperature on the germination of sunflower (*Helianthus annulus L.*). Seed Science and Technology, 22: 565-572. (**Journal**)
- Olsen, J. K., McMahan, C. R. and Hammer, G. L. 1993. Prediction of sweet corn phenology in subtropical environments. Agronomy Journal, 85: 410-415. (**Journal**)
- Ramin, A. A. 1997. The influence of temperature on germination taree irani. Seed Science and Technology, 25: 419-426. (**Journal**)
- Robertson, M. J., Carberry, P. S., Huth, N. I., Turpin, J. E., Probert, M. E., Poulton, P. L., Bell, M., Wright, G. C., Yeates, S. J. and Brinsmead, R. B. 2002. Simulation of growth and development of diverse legume species in APSIM. Australian Journal of Agricultural Research, 53: 429-446. (**Journal**)
- Soltani, A. and Galeshi, S. 2002. Importance of rapid canopy closure for wheat production in a temperate sub-humid environment: experimentation and simulation. Field Crops Research, 77: 17-30. (**Journal**)
- Soltani, A., Robertson, M. J., Torabi, B., Yousefi-Daz, M. and Sarparast, R. 2006. Modelling seedling emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. Field Crops Research, 138: 156-167. (In Persian)(**Journal**)
- Soltani, E., Akramghaderi, F. and Soltani, A. 2008. Applications of germination modeling on the response to temperature and water potential in seed science research. In: Abstract Book of the 1rd Iranian Seed Science and Technology Symposium, November 13-14, 2008. Gorgan. (In Persian) (**Conference**)
- Tabrizi, L., Koocheki, A., Nasiri Mahalati, M. and Rezvani, P. 2007. Germination behavior of cultivated and natural stand seeds of Khorasan thyme (*Thymus transcaspicus Klokov*) with application of regression models. Iranian Journal of Field Crops Research, 5: 249-257. (In Persian) (**Journal**)
- Torabi, B. and Soltani, A. 2012. Quantifying of chickpea emergence response to temperature. Journal of Crop Production and Processing, 6: 109-119. (In Persian)(**Journal**)
- Torabi, B., Attarzadeh, M. and Soltani, A. 2013. Germination response to temperature in different safflower (*Carthamus tinctorum*) cultivars. Seed Technology Journal, 35: 47-59. (In Persian) (**Journal**)

- Vigil, M. F., Anderson, R. L. and Beard, W. E. 1997. Base temperature and growing degree hour requirements for the emergence of canola. *Crop Science*, 37: 844-849. **(Journal)**
- Warrington, I. J. and Kanemasa, E. T. 1983. Corn growth response to temperature and photoperiod. I. seedling emergence, tassel initiation and a thesis. *Agronomy Journal*, 75: 749-754. **(Journal)**
- Yin, X., Kropff, M. J., McLaren, G. and Visperas, R. M. 1995. A non-linear model for crop development as a function of temperature. *Agriculture and Forest Meteorology*, 77: 1-16. **(Journal)**
- Yousefi-Daz, M., Soltani, A., Akram Ghaderi, F. and Sarparast, R. 2006. Evaluation of non-linear regression models to describe response of emergence rate to temperature in chickpea. *Agriculture Science and Technology*, 20(1): 93- 102. **(Journal)**



Evaluation of linear and nonlinear regression models to describe the response of the emergence of lentil (*Lens culinaris* Medik) to temperature

Samaneh Rahban^{1*}, Ghorban Ali Rasam², Benyamin Torabi³, Asghar Khoshnoud Yazdi⁴

Received: December 10, 2015

Accepted: April 17, 2017

Abstract

This study was done to evaluate different linear and nonlinear regression models to determination of cardinal temperatures and biological day's requirement for emergence of lentil. Therefore, a split plot experiment was conducted based on three replications. Seeds of lentil (Gacgsaran, Kimia and Bilehsovar) were sown in field at 12 different dates. Beta, dent-like and segmented models were applied to evaluate the relationship between germination rate and temperature. Root mean square deviation (RMSD), coefficient of determination (R^2), variation coefficient (CV) and linear regression coefficients (a and b) were used to select the perfect model. Results of models fitting indicated that the response of lentil emergence to temperature is best described by a segmented model. Cardinal temperatures estimated by this model were -1.27 to -1.62°C for base temperature, 23.15 to 25.92°C for optimum temperature and 30°C for ceiling temperature based on air temperature. There was not any significant difference among cultivars in view of in base temperature and optimum temperature but cultivars had significant difference in biological days. The biological day's requirement was 6.99, 8.56 and 8.78 for Bilehsovar, Gacgsaran, and Kimia, respectively. The quantitative information provided in the present study can be used to predict the emergence of lentil cultivars. The main applicable result of this study was that reaction of seedling of the lentil is describable best by the use of segmented model, so this model and its derived parameters are applicable in predicting emergence in some given lentil cultivars.

Keywords: Emergence; Lentil; Simulation; Temperature

How to cite this article

Rahban, S., Rasam, Gh. A., Torabi, B. and Khoshnoud Yazdi, A. 2018. Evaluation of linear and nonlinear regression models to describe the response of the emergence of lentil (*Lens culinaris* Medik) to temperature. Iranian Journal of Seed Science and Research, 5(2): 23-36. (In Persian)(**Journal**)
DOI: [10.22124/jms.2018.2908](https://doi.org/10.22124/jms.2018.2908)

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. PhD Student of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

2,4. Assistant Professor of Shirvan Higher education college

3. Assistant Professor, Agronomy Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources Gorgan, Iran

* Corresponding author: samaneh.rahban@yahoo.com