



ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای استفاده در آنالیز رشد کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L)

حمیده خلیج^۱، محمدرضا لبافی حسین آبادی^۲

دریافت: ۹۷/۳/۲۰ پذیرش: ۹۷/۸/۲۶

چکیده

این مطالعه به منظور ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای استفاده در آنالیز رشد کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L) انجام شد. آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران واقع در پاکدشت در سال ۱۳۹۳ اجرا شد. تیمار تاریخ کاشت شامل یک اردیبهشت، یک خرداد و یک تیر ماه بود. بمنظور بررسی آنالیز رشد، تغییرات سطح برگ و وزن خشک اندام گیاهی اندازه‌گیری شد و از هشت مدل برای توصیف روند تغییرات وزن خشک (لجستیک، گومپرتز، ریچاردز، ویبول، نمایی خطی بریده، نمایی خطی متقارن و مدل بتا ۱ و ۲) و از سه مدل (لجستیک، گومپرتز و بتا) برای توصیف روند تغییرات سطح برگ استفاده شد. نتایج نشان داد که تمام مدل‌های مورد استفاده به‌خوبی روند تغییرات وزن خشک و سطح برگ را در برابر زمان (روز پس از کاشت) توصیف کردند و از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی می‌توان در مطالعات آنالیز رشد استفاده نمود. در این تحقیق از مدل بتا ۱، به‌طور مشترک در هر سه تاریخ کاشت جهت برآورد شاخص سطح برگ و ماده خشک استفاده شد. در بین تاریخ کاشت‌های مورد بررسی، اردیبهشت و خرداد ماه به ترتیب بیشترین شاخص سطح برگ و ماده خشک و تیرماه کمترین شاخص سطح برگ و ماده خشک را تولید کردند.

واژه‌های کلیدی: کدو پوست کاغذی، مدل رگرسیونی غیرخطی، وزن خشک، سطح برگ

خلیج، ح. و م.ر. لبافی حسین آبادی. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای استفاده در آنالیز رشد کدو پوست کاغذی (*Cucurbita pepo* L). مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴۰: ۲۱۱-۲۲۴.

۱- عضو علمی گروه کشاورزی دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

۲- مرکز تحقیقات گیاهان دارویی، پژوهشکده گیاهان دارویی جهاد دانشگاهی، کرج، ایران- مسئول مکاتبات. mohammad1700@yahoo.com

مقدمه

گیاه دارویی به گیاهی گفته می‌شود که در درمان بیماری یا پیشگیری از بروز آن، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سی سال اخیر استفاده از روغن‌های گیاهی اهمیت بسزایی یافته است (دهقان، ۱۳۹۰) از جمله این گیاهان، می‌توان به گیاهان متعلق به جنس کدو اشاره کرد.

کدوی پوست کاغذی (کدوی طبی) با نام علمی *Cucurbita pepo* L. آن *Medicinal Pumpkin*، گیاهی علفی، یک‌ساله و متعلق به تیره کدوئیان (*Cucurbitaceae*) می‌باشد. روغن دانه گیاهان این جنس به‌طور موثری در درمان کرم‌های روده‌ای، هیپرتروفی پروستات، التهابات معده و تصلب شرایین نقش داشته و به‌علاوه در کاهش سطح LDL و لخته‌های متداول خون، جلوگیری از انقباضات نامنظم قلب، معالجه بزرگ شدن پروستات و سوزش مجاری ادرار و کاهش خطر تشکیل سنگ‌های مثانه و کلیه نیز نقش موثری دارد (آروبی و همکاران، ۱۳۷۹؛ واگنر، ۲۰۰۰). از کدوی پوست کاغذی در تهیه روغن‌های خوراکی در انواع سس‌ها، سالادها و مواد آرایشی از قبیل کرم‌های پوستی استفاده می‌شود (آروبی و همکاران، ۱۳۷۹).

یکی از نیازهای مهم در برنامه‌ریزی زراعی برای بدست آوردن حداکثر عملکرد و با کیفیت مطلوب، تعیین بهترین زمان کاشت محصول است. هدف از مناسب‌ترین تاریخ کاشت پیدا نمودن زمانی است که مجموعه عوامل محیطی حادث در آن زمان جهت رسیدن به حداکثر عملکرد مناسب باشد (جوادی و همکاران، ۱۳۹۶). مدیریت تاریخ‌های کاشت برای انطباق حداکثر شاخص سطح برگ در طول فصل رشد اهمیت زیادی در افزایش عملکرد دارد (اشراقی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۰). کمی کردن اثرات دما و طول روز بر طول دوره‌های نمو گیاه می‌تواند به تعیین بهترین تاریخ کاشت و بهره‌وری بهینه از منابعی نظیر تابش خورشیدی کمک کند.

بررسی شاخص‌های رشد در تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر بر عملکرد و اجزای آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (کوچکی و سرم‌دینا، ۱۳۹۱). به کمک این شاخص‌ها، می‌توان عکس‌العمل‌های گیاه را نسبت به شرایط محیطی مختلف طی دوره رشد گیاه، تفسیر نموده و شناخت بهتری از روند رشد گیاه در هر منطقه به دست آورد (خطیب و همکاران، ۱۳۹۵). مدل‌های رگرسیونی که توصیف مناسبی از رشد گیاه ارایه می‌نمایند، جهت تشخیص تفاوت‌های ژنوتیپی یا تأثیر عوامل محیطی و مدیریتی روی فرآیندهای رشد، مورد

استفاده قرار می‌گیرند (بن و همکاران، ۲۰۰۳). از انواع مدل‌های بکار رفته در این زمینه، مدل‌های رشد رگرسیونی غیرخطی مانند لجستیک، گومپرتز، ریچاردز، ویبول، نمایی خطی و بتا می‌باشند (علی پور قاسم آباد سفلی و همکاران، ۱۳۹۶، غدیریان و همکاران، ۱۳۹۰؛ تیمرمنز و همکاران، ۲۰۰۷؛ رویو و همکاران، ۲۰۰۴).

هدف از اجرای این تحقیق بررسی آنالیز رشد گیاه کدو پوست کاغذی و کمی‌سازی تغییرات سطح برگ و ماده خشک تحت تأثیر تیمار تاریخ کاشت بود.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در سال زراعی ۱۳۹۳ در مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان- دانشگاه تهران واقع در پاکدشت، انجام شد. ارتفاع محل انجام آزمایش از سطح دریا ۱۰۰۳ متر، عرض و طول جغرافیایی آن به ترتیب $35^{\circ} 28'$ درجه شمالی و $51^{\circ} 44'$ درجه شرقی می‌باشد. بافت خاک محل انجام آزمایش لومی و از نظر اقلیمی و بر اساس تقسیم‌بندی دوارتن جزء مناطق خشک محسوب می‌شود و میانگین بارندگی سالیانه برابر ۱۷۰ میلی‌متر است.

آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد، تیمار تاریخ کاشت شامل یک اردیبهشت، یک خرداد و یک تیر بود. هر واحد آزمایشی متشکل از ۶ ردیف کاشت به طول ۷ متر، فاصله روی ردیف ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بین ردیف ۱۵۰ سانتی‌متر بود. هنگام کاشت، در هر چاله ۵ بذر کشت شده و در مرحله ۴ برگی تنک شدند. علف‌هرزهای سبز شده در کرت‌های آزمایشی در تمامی طول فصل رشد وجین و بر اساس نتایج تجزیه شیمیایی خاک، میزان کود مورد نیاز تعیین شده و تمامی کودهای فسفره و پتاسه و یک-سوم کود اوره در هنگام کاشت به زمین اضافه شد. باقیمانده‌ی کود اوره به صورت سرک و در دو زمان شروع مرحله گلدهی و شروع تشکیل میوه به کاربرده شد. عملیات آبیاری و مبارزه با آفات و بیماری‌های احتمالی به گونه‌ای انجام گرفت که هیچ گونه آثاری از تنش خشکی، آفت‌زدگی و بیماری در کدو تخم کاغذی مشاهده نشود. اندازه‌گیری‌های گیاهی شامل سطح برگ با استفاده از دستگاه سطح‌برگ‌سنج و وزن خشک اندام هوایی بود. بدین منظور، نمونه‌برداری‌های تخریبی از دو هفته پس از کاشت آغاز و تا انتهای فصل رشد هر ۱۴-۱۰ روز یکبار انجام شد و در هر نمونه‌برداری ۳ بوته از هر کرت برداشت و مورد ارزیابی قرار گرفت.

برای توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دوره
رشد گیاه، از سه مدل زیر استفاده شد:

$$y = l_{\max} \left(1 + \frac{te - x}{te + tm}\right) \left(\frac{x}{te}\right)^{\frac{te}{te - tm}}$$

که در آن l_{\max} حداکثر مقدار شاخص سطح برگ، tm زمانی که سرعت رشد شاخص سطح برگ به حداکثر مقدار خود می‌رسد و te زمان پایان دوره رشد سطح برگ است.

$$y = \frac{ae^{-a(x-b)(c)}}{(1 + e^{-a(x-b)})^2} \quad \text{۲- مدل لجستیک (عرب عامری، ۱۳۸۷؛ راحمی کاریزکی، ۱۳۸۴):}$$

که در آن a یک ضریب ثابت می‌باشد و میزان چرخش منحنی را نشان می‌دهد، b زمان پس از کاشت که در آن حداکثر شاخص سطح برگ حادث می‌شود و c نیز یک ضریب ثابت می‌باشد.

$$y = l_{\max} e^{-e^{-k(x-t_m)}} \quad \text{۳- مدل گومپرتز (گومپرتز، ۱۸۲۵؛ وینسور^۱، ۱۹۳۲؛ ین و همکاران، ۲۰۰۳):}$$

که در آن l_{\max} حداکثر مقدار شاخص سطح برگ، k ضریب نشان‌دهنده تندی افزایش سطح برگ و tm زمانی است که سرعت رشد شاخص سطح برگ به حداکثر مقدار خود می‌رسد.

به‌منظور توصیف روند تغییرات ماده خشک (w) در برابر زمان پس از کاشت (x) مدل‌های رگرسیونی غیرخطی زیر مورد بررسی قرار گرفتند:

$$w = \begin{cases} \frac{c_m}{r_m} \ln[1 + e^{r_m(x-t_o)}] & \text{if } x < t_o + w_{\max}/c_m \\ w_{\max} & \text{if } x \geq t_o + w_{\max}/c_m \end{cases} \quad \text{۴- مدل نمایی خطی بریده (گوادریان^۲ و مونیتیت، ۱۹۹۰؛ ین و همکاران، ۲۰۰۳):}$$

که در آن w_{\max} حداکثر مقدار تجمع ماده خشک، cm حداکثر سرعت رشد محصول در مرحله خطی رشد، rm حداکثر سرعت رشد نسبی در مرحله نمایی رشد و to زمان از دست رفته تا شروع مرحله خطی رشد می‌باشد.
۵- مدل نمایی خطی متقارن (ین و همکاران، ۲۰۰۳):

$$w = \frac{c_m}{r_m} \ln \left[\frac{1 + e^{r_m(x-t_o)}}{1 + e^{r_m(x-t_o - w_{\max}/c_m)}} \right]$$

که در آن w_{\max} حداکثر مقدار تجمع ماده خشک، cm حداکثر سرعت رشد محصول در مرحله خطی رشد، rm حداکثر سرعت رشد نسبی در مرحله نمایی رشد و to زمان از دست رفته تا شروع مرحله خطی رشد می‌باشد.

1- Winsor
2- Guadrian

۶- مدل لجستیک (ین و همکاران، ۲۰۰۳؛ ورهالست^۱، ۱۸۳۸):

$$W = \frac{W_{\max}}{1 + e^{-k(x-t_m)}}$$

که در آن W_{\max} حداکثر مقدار تجمع ماده خشک، k ضریب نشان‌دهنده تندی افزایش ماده خشک و t_m زمانی است که سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار خود می‌رسد (در این زمان مقدار ماده خشک به نصف مقدار حداکثر خود رسیده است). در زمان t_m ، RGR برابر است با $k/2$ معادله لجستیک در زمان t_m به صورت متقارن می‌باشد.
۷- مدل ریچاردز (ریچاردز، ۱۹۵۹؛ ویلگاس^۲ و همکاران، ۲۰۰۱؛ ین و همکاران، ۲۰۰۳؛ مولر^۳ و همکاران، ۲۰۰۶):

$$w = \frac{W_{\max}}{\left[1 + v e^{-k(x-t_m)}\right]^{1/v}}$$

که در آن W_{\max} حداکثر مقدار تجمع ماده خشک، k ضریب نشان‌دهنده تندی افزایش ماده خشک و t_m زمانی است که سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار خود می‌رسد و v هم یک ضریب ثابت در معادله می‌باشد. در زمان t_m ، RGR برابر است با $k/(1+v)$ مدل ریچاردز فقط یک ضریب v بیشتر از مدل لجستیک (۶) دارد و در صورتی که v برابر با یک باشد، این مدل همان معادله لجستیک می‌شود. ریچاردز (۱۹۵۹) با اضافه کردن ضریب v به مدل لجستیک این مدل را برای توصیف الگوهای رشد نامتقارن معرفی کرد.
۸- مدل گومپرتز (گومپرتز، ۱۸۲۵؛ وینسور، ۱۹۳۲؛ ین و همکاران، ۲۰۰۳):

$$W = W_{\max} e^{-e^{-k(x-t_m)}}$$

که در آن W_{\max} حداکثر مقدار تجمع ماده خشک، k ضریب نشان‌دهنده تندی افزایش ماده خشک و t_m زمانی است که سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار خود می‌رسد. طبق مدل گومپرتز، در زمان t_m ، مقدار RGR برابر با مقدار ضریب k می‌باشد.
۹- مدل ویبول (ویبول، ۱۹۵۱؛ ین و همکاران، ۲۰۰۳):

$$w = w_{\max} (1 - e^{-ax^b})$$

در این مدل نیز W_{\max} حداکثر مقدار تجمع ماده خشک و a و b هم ضرایب ثابت در معادله می‌باشند که شکل منحنی را تعیین می‌کنند. واحد پارامتر a بستگی دارد به مقدار b و به صورت واحد x به توان b (x^{-b}) بیان می‌شود.

$$w = w_{\max} \left(1 + \frac{t_e - x}{t_e - t_m}\right) \left(\frac{x}{t_e}\right)^{\frac{t_e}{t_e - t_m}}$$

۱۰- مدل بتا ۱ (ین و همکاران، ۲۰۰۳):

که در آن W_{\max} حداکثر مقدار تجمع ماده خشک، t_m زمانی که سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار خود می‌رسد و t_e زمان پایان دوره رشد است که در آن مقدار ماده خشک برابر با W_{\max} است.
۱۱- مدل بتا ۲ (ین و همکاران، ۲۰۰۳؛ مولر و همکاران، ۲۰۰۶):

1- Verhulst
2- Villegas
3- Muller

$$w = \begin{cases} w_b & \text{if } x < t_b \\ w_b + (w_{\max} - w_b) \left(1 + \frac{t_e - x}{t_e - t_m} \right) \left(\frac{x - t_b}{t_e - t_b} \right)^{\frac{t_m - t_b}{t_e - t_m}} & \text{if } t_b < x < t_e \\ w_{\max} & \text{if } x > t_e \end{cases}$$

with $t_b \leq t_m < t_e$

تکراری با هر بار وارد کردن مقادیر اولیه پارامترها، مقادیر نهایی آن با روش کمترین توان‌های دوم تخمین زده شد. تغییر مقادیر اولیه تا زمانی انجام گرفت که بهترین برآورد از پارامتر بدست آید. بهترین برآورد پارامترهای مدل براساس بیشترین ضریب تبیین ($R^2 \text{ adj}$) (فرمول شماره ۱۲) و کمترین جذر میانگین مربعات خطا (Root Mean Squares Error=RMSE) (فرمول شماره ۱۳) انتخاب شدند.

که در این مدل حداکثر مقدار تجمع ماده خشک، W_{\max} مقدار ماده خشک اولیه در شروع رشد، t_b زمان شروع رشد، t_m زمانی که سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار خود می‌رسد و t_e زمان پایان دوره رشد است. برآزش مدل‌ها بر داده‌های سطح برگ و تجمع ماده خشک با استفاده از نرم افزار SAS 9.2 و تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری با کمک رویه PROC NLIN صورت گرفت (سلطانی، ۱۳۸۶). در روش مطلوب‌سازی

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{obs} - y_{pred})^2} \tag{12}$$

$$R^2 \text{ adj} = 1 - \frac{\sum (y_{obs} - y_{pred})^2}{\sum (y_{obs} - \bar{y}_{obs})^2} \tag{13}$$

(AICc) استفاده شد که توسط فرمول شماره ۱۵ محاسبه شد، در این فرمول مجموع مربعات باقیمانده رگرسیون، K تعداد پارامترهای برآورد شده در مدل و n تعداد نقاط یا نمونه‌ها می‌باشد. اگر اختلاف شاخص آکائیک تصحیح شده دو مدل، ۲ و یا کمتر از آن باشد اختلاف معنی‌داری ندارند.

برای انتخاب بهترین مدل از شاخص آکائیک (AIC) استفاده شد (برنهام و اندرسون، ۲۰۰۲). در مقایسه دو مدل، هرکدام که از مقدار AIC کمتری برخوردار است به عنوان مدل بهتر انتخاب شد (فرمول شماره ۱۴). در آزمایشاتی که تعداد نقاط یا نمونه‌های کوچک است از شاخص آکائیک تصحیح شده

$$AIC = n \times \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2 \times K \tag{14}$$

$$AICc = -2 \times \ln \left(\frac{RSS}{n} \right) + 2 \times K + \frac{2 \times K \times (K+1)}{n-K-1} \tag{15}$$

تجمع ماده خشک داشتند (جدول ۱). در تاریخ کاشت خرداد مدل‌های لجستیک (۳۰۲/۹۹)، گومپرتز (۳۰۲/۳۵)، ویبول (۳۰۲/۶۵) و بتا ۱ (۳۰۴/۳۲) با بیش از ۸۰ درصد تخمین بهترین برآزش را داشتند (جدول ۱). در تاریخ کاشت تیر ماه مدل‌های گومپرتز (۲۴۳/۷)، ویبول (۲۴۴/۶) و بتا ۱ (۲۴۵/۳) با ۸۸ درصد تخمین بهترین مدل‌ها بودند (جدول ۱). در تحقیقات مختلف مدل‌های رشد رگرسیونی غیرخطی،

نتایج و بحث

برآزش مدل‌های غیر خطی بر ماده خشک

در تاریخ کاشت اردیبهشت مدل‌های ویبول (۲۵۲/۴) و بتا ۱ (۲۵۰/۵) به دلیل کمترین شاخص آکائیک تصحیح شده و جذر میانگین مربعات خطا (۱۲۸/۹۷ و ۱۲۴/۶ به ترتیب) و ضریب تبیین بیشتر از ۹۰ درصد، بهترین برآزش را به داده‌های

سبز شدن، استقرار و بقای گیاهچه مناسب رشد و نمو گیاه باشد (اکرم قادری و همکاران، ۱۳۸۲). تأثیر تاریخ کاشت بر فنولوژی گیاه به‌ویژه ظهور گل آذین در سایر منابع نیز اشاره شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۰) و از این طریق تغییر در تاریخ کاشت می‌تواند در بهبود تولید محصول موثر باشد که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد.

بر اساس نتایج تحقیق انجام شده، کشت های زود هنگام (اول اردیبهشت) گیاه کدو پوست کاغذی ممکن است موجب غیریکنواختی در سبز شدن مزرعه شده و منجر به کاهش عملکرد شود که می‌تواند تأکیدی بر مطالعات بغدادی (بغدادی، ۱۳۸۳) باشد که مناسب ترین تاریخ کاشت کدو پوست کاغذی در شرایط استان قزوین را ۲۵ اردیبهشت ماه ذکر نموده است. دودمان و همکاران (دودمان، ۱۳۸۹) با بررسی اثر تاریخ کاشت بر عملکرد کدوی پوست کاغذی گزارش کردند که با تاخیر در کاشت، تعداد میوه در واحد سطح، تعداد دانه در واحد سطح، عملکرد میوه در واحد سطح، وزن هزار دانه و درصد روغن دانه‌ها به‌صورت معنی‌داری تحت تأثیر قرار می‌گیرند. نتایج تحقیقات انجام شده (آباک و همکاران، ۲۰۰۱) اثر تاریخ کاشت را بر درصد روغن دانه کدو پوست کاغذی موثر دانست و تاخیر در کاشت را منجر به کاهش ۴۰ به ۳۵ درصد روغن شد و افزایش طول دوره رشد را سبب افزایش درصد روغن دانه‌ها اعلام کرد.

برازش مدل های غیر خطی بر شاخص سطح برگ

نتایج نشان داد مدل‌های مورد استفاده (رگرسیون لجستیک، گومپرتز و بتا ۱)، کارآیی‌های مختلفی در توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ در سه تاریخ کاشت اردیبهشت، خرداد و تیر ماه داشتند.

تغییرات شاخص سطح برگ در اردیبهشت ماه توسط مدل‌های بتا ۱ و لجستیک با داشتن شاخص آکائیک $-۱۷۵/۷۶$ ، $۱۷۴/۹۶$ - و جذر میانگین مربعات خطا پایین $(۰/۴۶, ۰/۴۵)$ و همچنین ضریب تبیین نسبتاً مناسب ۵۰ درصد پیش‌بینی شد (جدول ۳). در تاریخ کاشت اردیبهشت، مدل بتا ۱ حداکثر شاخص سطح برگ را $۱/۷۸$ برآورد نمود. این مدل حداکثر شاخص سطح برگ را پس از ۸۲ روز (te) و حداکثر سرعت رشد سطح برگ (tm) را ۵۹ روز پس از کاشت پیش‌بینی نمود (جدول ۴).

لجستیک، گومپرتز، ریچاردز، ویبول، نمایی خطی، نمایی خطی بریده، نمایی خطی متقارن و بتا (غدیریان و همکاران، ۱۳۹۰، مولر و همکاران، ۲۰۰۶، رویو و همکاران، ۲۰۰۴) به‌طور گسترده استفاده شده‌اند. علی پور قاسم آباد سفلی و همکاران (۱۳۹۶) مدل رگرسیون غیرخطی لجستیک را مدل مناسبی و کارآمدی در تجزیه و تحلیل رشد ارقام باقلا معرفی نمودند. غدیریان و همکاران (۱۳۹۰) از بین تمام مدل‌های رگرسیونی غیرخطی مورد استفاده برای مطالعه آنالیز رشد گندم به لحاظ آماری مدل نمایی بریده را مناسب‌تر از دیگر مدل‌ها گزارش کردند.

با توجه به پیش‌بینی مدل بتا ۱، در صورتیکه گیاه کدو پوست کاغذی در اردیبهشت ماه کشت شود، ۸۸ روز پس از کاشت حداکثر مقدار ماده خشک ($۱۲۳۷/۹$ گرم بر متر مربع) بوقوع می‌پیوندد (جدول ۲). اما حداکثر مقدار ماده خشک پیش‌بینی شده در تاریخ کشت خرداد ماه، توسط مدل‌های برتر ۱۳۴۴ تا $۱۴۶۳/۷$ گرم بر متر مربع بود که بیشترین مقدار توسط مدل گومپرتز برآورد شد. زمان پایان رشد کدو پوست کاغذی در خردادماه توسط مدل بتا ۱، ۹۳ روز پس از کاشت برآورد شد (جدول ۲).

حداکثر مقدار ماده خشک در کشت دیر هنگام (تیر ماه)، در مدل بتا ۱ با $۸۸۱/۳$ گرم بر متر مربع تا $۹۷۱/۱$ گرم بر متر مربع در مدل گومپرتز بود، مدل گومپرتز و ویبول بدون اختلاف معنی‌دار حداکثر مقدار ماده خشک را پیش‌بینی کردند. پایان رشد کدو پوست کاغذی توسط مدل بتا ۱، ۹۷ روز پس از کاشت پیش‌بینی شد (جدول ۲).

به‌طور کلی بررسی روند تغییرات ماده خشک در سه تاریخ کاشت اردیبهشت، خرداد و تیر ماه نشان داد که مدل‌های ویبول و بتا ۱ در بین تمامی تاریخ‌های کاشت مشترک بودند و مقدار حداکثر ماده خشک برآورده شده توسط این دو مدل در هر تاریخ کاشت تفاوت معنی‌داری نداشت. بنابراین بر اساس این نتایج، بیشترین مقدار ماده خشک پیش‌بینی شده در تاریخ کاشت خرداد ماه بر اساس مدل ویبول، ۱۳۴۴ گرم بر متر مربع و با مدل بتا ۱ $۱۳۷۸/۶$ گرم بر متر مربع می‌باشد. کمترین مقدار ماده خشک نیز در تاریخ کاشت تیر ماه با تولید $۹۰۰/۵$ گرم بر متر مربع در مدل ویبول و $۸۸۱/۳$ گرم بر متر مربع در مدل بتا ۱ تولید می‌شود (جدول ۲).

تاریخ کاشت مهمترین عاملی است که اغلب خصوصیات فیزیولوژیک و مرفولوژیک گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. تاریخ کاشت مطلوب باعث می‌شود که شرایط محیطی در زمان

جدول ۱- شاخص آکائیک (AICc)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R^2) و ضرایب رگرسیون (a, b) برای مدل‌های مختلف رگرسیونی جهت توصیف روند تجمع ماده خشک و روز پس از کاشت در سه تاریخ کاشت اردیبهشت، خرداد و تیر ماه

مدل	AICc	R^2	RMSE	b±SE	a±SE
اردیبهشت					
نمایی بریده	254.4	0.923	126.31	0.91±0.04	46.51±29.97
نمایی متقارن	254.8	0.922	125.32	0.90±0.04	47.71±29.74
لجستیک	253.5	0.918	129.34	0.90±0.04	54.27±30.69
ریچاردز	257	0.918	128.98	0.90±0.04	55.99±30.61
گومپرتز	254.8	0.915	133.24	0.91±0.04	43.72±31.62
ویبول	252.4	0.92	128.97	0.91±0.04	45.89±30.60
بتا ۱	250.5	0.924	124.6	0.91±0.04	53.35±29.57
بتا ۲	258.1	0.9229	127.1458	0.92±0.04	41.90±30.17
خرداد					
نمایی بریده	305.1	0.818	226.14	0.82±0.06	111.38±54.36
نمایی متقارن	305.1	0.818	224.76	0.81±0.06	113.19±54.03
لجستیک	302.9	0.812	222.84	0.79±0.06	139.87±53.57
ریچاردز	309.7	0.814	204.93	0.73±0.05	109.16±49.27
گومپرتز	302.3	0.814	225.39	0.80±0.06	123.73±54.19
ویبول	302.6	0.813	223.49	0.79±0.06	134.17±53.73
بتا ۱	304.3	0.806	222.08	0.77±0.06	155.38±53.39
بتا ۲	311.4	0.8094	189.68	0.67±0.05	162.38±45.60
تیر					
نمایی بریده	248.8	0.884	113.99	0.88±0.05	31.68±30.19
نمایی متقارن	259.1	0.878	109.42	0.82±0.05	19.06±28.98
لجستیک	245.9	0.879	112.27	0.85±0.05	74.59±29.74
ریچاردز	248.6	0.882	119.66	0.92±0.05	36.23±31.70
گومپرتز	243.7	0.885	111.85	0.87±0.05	61.49±29.63
ویبول	244.6	0.883	111.47	0.86±0.05	69.19±29.53
بتا ۱	245.3	0.881	111.52	0.85±0.05	73.44±29.54
بتا ۲	252.4	0.8843	112.6863	0.87±0.05	66.02±29.85

مدل جهت برآورد شاخص‌های فیزیولوژیکی مشخص شد. در تحقیق انجام شده توسط غدیریان و همکاران (غدیریان و همکاران، ۱۳۹۰) در ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای استفاده در آنالیز رشد گندم نیز مدل بتا ۱ توصیف مناسب‌تری از تغییرات شاخص سطح برگ را نسبت به مدل لجستیک ارائه نمود که با نتایج این آزمایش همخوانی دارد.

در تاریخ کاشت خرداد ماه، هر سه مدل لجستیک، گومپرتز و بتا ۱ تغییرات شاخص سطح برگ را بدون اختلاف معنی‌داری پیش‌بینی کردند (جدول ۳). در تاریخ کاشت تیر ماه مدل‌های گومپرتز و بتا ۱ با شاخص آکائیک (۲۳۸/۴۲، -۲۳۶/۴۱) مناسب و جذر میانگین مربعات خطا ۰/۲۴ و ۰/۲۲ و ضریب تبیین ۶۰ درصد شاخص سطح برگ را پیش‌بینی نمودند (جدول ۳). مدل بتا ۱ به عنوان بهترین

جدول ۲- مقادیر پارامترهای برآورد شده پس از برازش مدل‌های مختلف رگرسیونی به روند تغییرات ماده خشک در برابر روز پس از کاشت در سه تاریخ کاشت اردیبهشت، خرداد و تیر ماه

مدل	پارامتر	واحد	تاریخ کاشت	
			تیر	خرداد
نمایی بریده	wmax	g/m ²	860.4±42.18	1328.5±85.3
	cm	g/m ² /day	14.07±1.96	27.01±5.29
	rm	g/g/day	1.36±5.23	1.42±1.89
	t0	day	27.79±4.77	32.94±4.72
نمایی متقارن	wmax	g/m ²	855.6±83.14	1319.4±104.5
	cm	g/m ² /day	12.08±1.33	26.92±4.46
	rm	g/g/day	0.94±20.67	1.07±35.03
	t0	day	27.39±3.82	32.83±4.28
لجستیک	wmax	g/m ²	898.2±62.6	1367.1±118.6
	k	-	0.08±0.02	0.1±0.03
	tm	day	57.65±3.17	58.3±3.31
	v	-	-0.31±0.83	-0.17±1.34
ریچاردز	wmax	g/m ²	1171.6±388.4	1399.8±414.3
	k	day	0.03±0.03	0.05±0.05
	tm	-	52.33±10.87	52.01±13.41
	v	-	-0.31±0.83	-0.17±1.34
گومپرتز	wmax	g/m ²	971.1±99.24	1463.7±185.5
	k	-	0.05±0.01	0.06±0.02
	tm	day	51.11±3.33	52.69±3.5
	v	-	-0.31±0.83	-0.17±1.34
ویبول	wmax	g/m ²	900.5±73.23	1344±111.1
	a	(day)	3.12*10 ⁻⁶ ±6.49*10 ⁻⁶	7.96*10 ⁻⁸ ±2.87*10 ⁻⁷
	b	-	3.04±0.53	3.94±0.9
	v	-	-0.31±0.83	-0.17±1.34
بنا ۱	wmax	g/m ²	881.3±39.39	1378.6±86.78
	te	day	96.55±5.62	92.89±5.28
	tm	day	62.63±3.04	64.93±3.36
	wbase	g/m ²	8.8±72.6	13.77±162.3
بنا ۲	wmax	g/m ²	899.4±63.58	1219.4±167.2
	tb	day	16±24.32	15±44.77
	te	day	101.8±14.99	100.2±26.35
	tm	day	57.25±13.06	58.45±19.89

g=گرم، m²=متر مربع، day=روز، wmax: حداکثر مقدار تجمع ماده خشک، cm: حداکثر سرعت رشد محصول در مرحله خطی رشد، tm: حداکثر سرعت رشد نسبی در مرحله نمایی رشد، t0: زمان از دست رفته تا شروع مرحله خطی رشد، K: ضریب نشان دهنده تندی افزایش ماده خشک، tm: زمانی است که سرعت رشد محصول به حداکثر خود می‌رسد، tm: در این زمان RGR برابر k/2 است، te: زمان پایا رشد است که مقدار ماده خشک به حداکثر میزان خود می‌رسد، Wb: مقدار ماده خشک اولیه در شروع رشد، tb: زمان شروع رشد.

شود (جدول ۴). فورچون و همکاران (۱۹۹۹) در بررسی‌های خود مشاهده کردند که تاریخ کاشت مناسب چغندر قند باعث افزایش در شاخص سطح برگ و جذب تشعشع می‌شود که با نتایج بدست آمده در این آزمایش همخوانی

در صورتیکه گیاه کدو پوست کاغذی در خرداد ماه کشت شود، تفاوت معنی‌داری بین حداکثر شاخص سطح برگ پیش‌بینی شده، سرعت رشد سطح برگ و روز حادث شدن حداکثر شاخص سطح برگ بین مدل‌ها مشاهده نمی‌

دارد. در تاریخ کاشت تیر ماه، مدل بتا ۱ پیش‌بینی نمود که ۸۱ روز پس از کاشت سطح برگ به حداکثر مقدار خود خواهد رسید (جدول ۴). ناندا و ساینی (۱۹۸۷) مشاهده کردند که حداکثر تعداد برگ در بوته ماش سبز با تاخیر در کاشت کاهش می‌یابد، که با نتایج این آزمایش که نشان می‌دهد تاخیر در کاشت موجب کاهش سطح برگ می‌شود همخوانی دارد. مدیریت تاریخ‌های کاشت برای انطباق حداکثر شاخص سطح برگ با حداکثر تابش در طول فصل رشد اهمیت زیادی در افزایش عملکرد دارد (اشراقی نژاد و همکاران، ۱۳۹۰).

جدول ۳- شاخص آکانیک (AICc)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تبیین (R²) و ضرایب رگرسیون (a, b) برای مدل‌های مختلف رگرسیونی جهت توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ و روز پس از کاشت در سه تاریخ کاشت اردیبهشت، خرداد و تیر ماه

مدل	AICc	R ²	RMSE	b±SE	a±SE
اردیبهشت					
لجستیک	-174.9	0.5	0.45	0.56±0.07	0.28±0.05
گومپرتز	-172.4	0.467	0.46	0.47±0.08	0.42±0.09
بتا ۱	-175.7	0.509	0.46	0.51±0.07	0.40±0.09
خرداد					
لجستیک	-166.5	0.424	0.43	0.56±0.07	0.28±0.05
گومپرتز	-167	0.436	0.47	0.44±0.08	0.42±0.10
بتا ۱	-165.1	0.405	0.42	0.36±0.07	0.60±0.09
تیر					
لجستیک	-236.2	0.608	0.21	0.56±0.07	0.28±0.05
گومپرتز	-238.4	0.627	0.24	0.66±0.08	0.19±0.06
بتا ۱	-236.4	0.609	0.22	0.56±0.07	0.28±0.05

جدول ۴- مقادیر پارامترهای برآوردشده پس از برازش مدل‌های مختلف رگرسیونی به روند تغییرات شاخص سطح برگ در برابر روز پس از کاشت در سه تاریخ کاشت اردیبهشت، خرداد و تیر ماه

مدل	پارامتر	واحد	تاریخ کاشت	
			اردیبهشت	خرداد
لجستیک	a	-	0.072±0.015	0.072±0.014
	b	روز	79.25±4.34	73.89±3.57
	c	-	97.06±17.67	97.98±15.16
گومپرتز	lmax	-	1.61±0.3	1.36±0.18
	k	-	0.08±0.05	1.25±0.10
	tm	روز	44.37±5.28	45.89±9.44
بتا ۱	lmax	-	1.78±0.22	1.66±0.25
	te	روز	81.9±2.79	79.57±3.62
	tm	روز	59.44±5.52	50.79±8.54

Lmax: حداکثر مقدار شاخص سطح برگ، tm: زمانی که سرعت رشد شاخص سطح برگ به حداکثر مقدار خود می‌رسد، te: زمان پایان دوره رشد سطح برگ، b: زمان پس از کاشت که در آن حداکثر شاخص سطح برگ حادث می‌شود، k: ضریب نشادهنده تندی افزایش سطح برگ.

بینی و مورد بررسی قرار گرفت تا بهترین تاریخ کاشت انتخاب گردد.

شاخص سطح برگ (LAI)

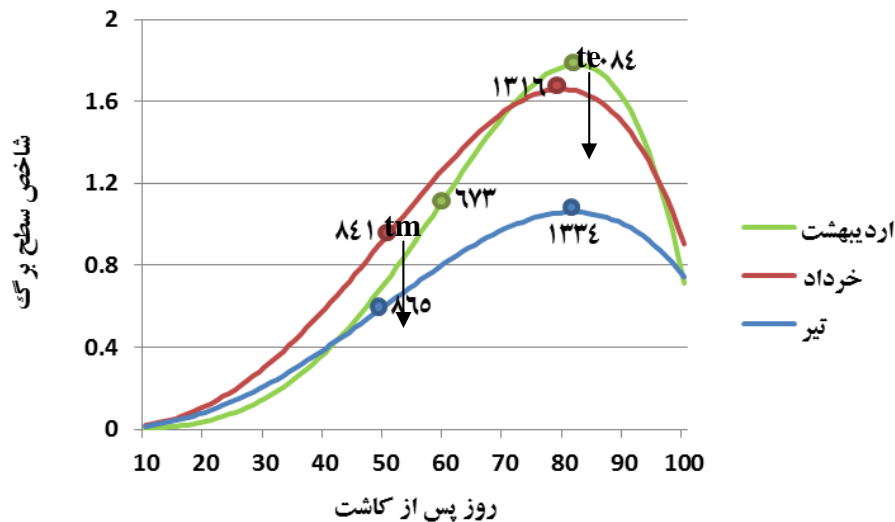
برآورد شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد بر اساس مدل بتا ۱ با توجه به برتری و اشتراک مدل بتا ۱ در شاخص‌های رشد، تغییرات سطح برگ و ماده خشک بر اساس این مدل پیش

درجه روز رشد (۵۰ روز پس از کاشت) حداکثر سرعت رشد سطح برگ مشاهده شد. حداکثر شاخص سطح برگ در کشت اردیبهشت ماه با ۱۰۸۴ درجه روز رشد (۸۰ روز پس از کاشت)، در کشت خردادماه با ۱۳۱۶ درجه روز رشد (۷۸ روز پس از کاشت) و در کشت تیرماه با دریافت ۱۳۳۴ درجه روز رشد (۸۰ روز پس از کاشت) مشاهده گردید (شکل ۱).

یکی از دلایل کمتر بودن شاخص سطح برگ در کشت تیرماه، کشت دیر هنگام و تقارن شرایط نامساعد محیطی با رشد رویشی کدو پوست کاغذی می‌باشد. کاهش سطح برگ در کشت تیرماه و تغییر در فراهمی مواد فتوسنتزی هم‌زمان و بلافاصله پس از گلدهی منجر به کاهش عملکرد کدو پوست کاغذی گردید.

شاخص سطح برگ که معیاری از مساحت برگ‌ها در واحد سطح می باشد توسط واتسون در سال ۱۹۴۷ تحت عنوان منبع تولید ارائه گردید (کوچکی و بنایان، ۱۳۷۵). در تحقیق حاضر بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول فصل رشد نشان داد که تا روز ۳۵ پس از کاشت، این روند کند و پس از آن تا حدود روزهای ۷۵ الی ۸۵ روز پس از کاشت تسریع و بعد از آن کاهش یافت (شکل ۱).

مقایسه شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت‌های مختلف بیانگر تفاوت چشمگیر بین تاریخ کاشت تیرماه با دو ماه دیگر بود. در تاریخ کاشت اردیبهشت ماه در زمان گلدهی با دریافت ۶۷۳ درجه روز رشد (۶۰ روز پس از کاشت)، در کشت خرداد ماه با دریافت ۸۴۱ درجه روز رشد (۴۸ روز پس از کاشت) و در کشت تیرماه با ۸۶۵



شکل ۱- روند تغییرات شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت‌های مختلف با استفاده از مدل بتا ۱

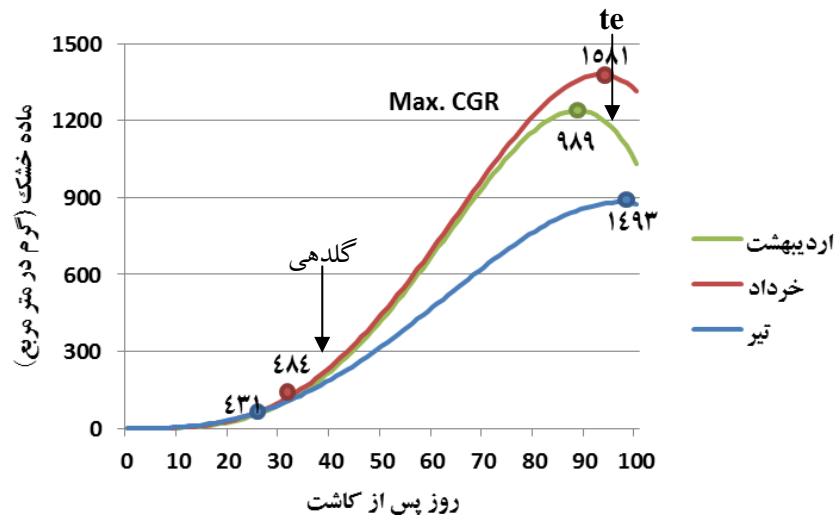
پایان دوره رشد روزت تجمع ماده خشک به صورت کند و بطئی و پس از ورود گیاه به مرحله زایشی به صورت خطی افزایش یافته و نهایتاً با نزدیک شدن گیاه به مرحله بلوغ روند افزایشی تجمع ماده خشک کاهش می‌یابد (دهقان، ۱۳۹۰). نتایج حاصل از این آزمایش نشان داد که روند تجمع ماده خشک در طول فصل رشد در میان تمامی تیمارهای تاریخ کاشت مشابه بود، به طوری که تا روز ۴۰ پس از کاشت، این روند کند و پس از آن تا حدود روز ۸۵ پس از کاشت تجمع ماده خشک به طور خطی افزایش یافت (شکل ۲). از این زمان به بعد روند افزایشی تجمع ماده خشک کاهش

روند تغییرات ماده خشک (TDM)

وزن خشک بوته در واحد سطح یکی از متغیرهای مهم در تحقیقات به زراعی است، زیرا بیانگر توان تولید گیاه در طول فصل رشد است (حسنوندی و همکاران، ۱۳۹۲). به طور کلی جهت دستیابی به عملکردهای بالاتر دانه، دو راه کار اصلی وجود دارد که عبارتند از: افزایش در شاخص برداشت و افزایش در تجمع ماده خشک (اسپچت و همکاران، ۱۹۹۹). مطالعات انجام شده نشان داده است که تجمع ماده خشک در کدو پوست کاغذی مانند سایر گیاهان زراعی از روند سیگموتیدی تبعیت نموده، به طوری که تا

برگ‌ها دانست. در حقیقت تولید ماده خشک بیشتر، با توجه به LAI بالاتر منطقی به نظر می‌رسد و این مسئله سبب گردیده است تا تاریخ کاشت‌های اردیبهشت و خردادماه بتوانند ذخیره مناسبی از مواد فتوسنتزی را جهت تولید بذور فراهم آوردند و در نتیجه عملکرد دانه‌ای بالاتر از کشت تیرماه را تولید نمایند.

یافت و پس از رسیدن به حداکثر مقدار خود، میزان ماده خشک کل کاهش یافت. بررسی دقیق‌تر تجمع ماده خشک کل در میان تاریخ کاشت های کدو پوست کاغذی نشان می‌دهد که در کشت تیرماه در انتهای فصل رشد با شیب کندتری کاهش یافته است که علت آن می‌تواند همزمانی با فصل پاییز و کاهش درجه حرارت و در نتیجه عدم ریزش



شکل ۲- روند تغییرات ماده خشک در تاریخ کاشت‌های مختلف با استفاده از مدل بتا ۱

بررسی، اردیبهشت و خرداد ماه به ترتیب بیشترین شاخص سطح برگ و ماده خشک و تیرماه کمترین شاخص سطح برگ و ماده خشک را تولید کردند.

نتیجه گیری

به‌طور کلی نتایج نشان داد که می‌توان از مدل بتا ۱ به‌طور مشترک در هر سه تاریخ کاشت جهت برآورد شاخص سطح برگ و ماده خشک استفاده نمود. در بین تاریخ کاشت‌های مورد

منابع

- اشراقی نژاد، م.، ب. کامکار و ا. سلطانی. ۱۳۹۰. اثر تاریخ کاشت بر عملکرد ارقام ارزن از طریق تأثیر بر طول دوره‌های فنولوژیک. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. جلد ۴، شماره ۲: ۱۸۸-۱۶۹.
- اکرم قادری، ف.، ن. لطیفی، ج. رضایی و ا. سلطانی. ۱۳۸۲. بررسی اثرات تاریخ کاشت بر فنولوژی و مرفولوژی سه رقم پنبه در گرگان. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۳۴، شماره ۱: ۲۳۰-۲۲۱.
- امام، ی. و م. نیک‌نژاد. ۱۳۷۳. مقدمه‌ای بر فیزیولوژی عملکرد گیاهان زراعی. انتشارات دانشگاه شیراز. ۵۷۱ ص.
- آرویی، ح.، ر. امید بیگی و ع. کاشی. ۱۳۷۹. بررسی سطوح مختلف نیتروژن بر روی برخی صفات گیاه دارویی کدوی تخمه کاغذی. مجله علمی پژوهشی پژوهش و سازندگی. جلد ۱۳، شماره ۳: ۹-۴.
- بغدادی، ح. ۱۳۸۳. بررسی تاثیر تاریخ و تراکم کاشت بر عملکرد بذر گیاه دارویی کدوی تخمه کاغذی. خلاصه مقالات دومین همایش گیاهان دارویی. دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه شاهد، ص ۶۸.

- پوررضا، ج.، ا. سلطانی، ع. راحمی، س. گالشی و ا. زینلی. ۱۳۸۶. روابط آلومتریک میان ارتفاع بوته و صفات رویشی در گیاه نخود (*Cicer arietinum*). ویژه نامه زراعت و اصلاح نباتات. جلد ۱۴، شماره ۵: ۱۹۱-۱۹۹
- حسنوندی، م.م.، رفیعی، م.، باقری، ع. ۱۳۹۲. تجزیه و تحلیل رشد گیاه گلرنگ با استفاده از مدل سازی رگرسیون. به زراعی کشاورزی. جلد ۱۵، شماره ۳: ۲۷-۳۷.
- خطیب، ف.، ترابی، ب.، رحیمی، ا. ارزیابی برخی از شاخص های رشد گلرنگ با استفاده از آنالیز رگرسیون. نشریه پژوهش های زراعی ایران. جلد ۱۴، شماره ۴: ۶۴۵-۶۳۱.
- خواجه پور، م. ر. ۱۳۸۸. اصول و مبانی زراعت (نگارش سوم). جهاد دانشگاهی واحد صنعتی اصفهان.
- جوادی، ح.، رضوانی مقدم، پ.، ثقه الاسلامی، م.ج.، موسوی، غ. ۱۳۹۶. بررسی اثر تراکم و تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد خرفه (*Protulaca oleracea L.*). نشریه پژوهش های زراعی ایران. جلد ۱۵، شماره ۱: ۱۲۳-۱۱۳.
- دودمان، آ.، ا. ح. شیرانی راد و م. نقوی. ۱۳۸۹. تاثیر تایخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و درصد روغن گیاه داویی کدوی تخمه کاغذی. یازدهمین کنگره زراعت، دانشگاه شهید بهشتی.
- دهقان، ا. ۱۳۹۰. بررسی اثرات مقادیر مختلف کود پلت شده دامی و اوره و برخی ریزمغذی ها بر خصوصیات کمی و کیفی گیاه دارویی کدوی پوست کاغذی (*Cucurbita pepo var styriaca*). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تهران.
- راحی کاریزکی، ع. ۱۳۸۴. پیش بینی دریافت و استفاده از تشعشع خورشیدی در گیاه نخود. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۸۹ ص.
- سلطانی، ا. ۱۳۸۶. کاربرد sas در آنالیزهای آماری. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۱۸۲ ص.
- طالعی، ع.، ن. خداینده و ب. غلامی. ۱۳۷۷. بررسی اثرات تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد و درصد پروتئین خام ماش. مجله. علوم کشاورزی ایران. جلد ۲۹، شماره ۴: ۷۵۸ تا ۷۵۱.
- علی پور قاسم آباد سفلی، ع.، ع. راحمی کاریزکی، ع.، نخ زری مقدم و ع. بیابانی. ۱۳۹۶. تجزیه و تحلیل رشد ارقام باقلا (*faba Vicia L.*) با استفاده از مدل رگرسیون غیرخطی لجستیک با انجام سرزنی. اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. جلد ۱۱، شماره ۳: ۴۸۵-۵۰۲.
- عرب عامری، ر. ۱۳۸۷. پیش بینی تعداد دانه و انتقال مجدد در گندم. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. ۸۹ ص.
- غدیریان، ر.، ا. سلطانی، ا. زینلی، م. کلاته عربی و ا. بخشنده. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل های رگرسیونی غیرخطی برای استفاده در آنالیز رشد گندم. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. جلد ۴، شماره ۳: ۵۵-۷۷.
- قلی پور، ع.، ع. جوانشیر، ف. رحیم زاده خوبی، س. ا. محمدی و ه. بیات. ۱۳۸۵. تاثیر کود نیتروژن و هرس ساقه روی عملکرد و اجزای عملکرد کدوی تخم کاغذی (*Cucurbita Pepo L.*). مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ۱۳: ۳۲-۴۱.
- کوچکی، ع. و غ. ح. سرمدنیا. ۱۳۹۱. فیزیولوژی گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ شانزدهم. ۴۰۰ ص.
- کوچکی، ع. و م. بنایان. ۱۳۷۵. مدل سازی در گیاهان زراعی (فرآیندهای اکوفیزیولوژیکی رشد و نمو). انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. ۲۸۸ ص.
- Abak, K., N. Sari and B. Cetiner. 2001. Changes of protein, fat content and fatty acid composition in naked Pumpkin seeds influenced by sowing time. Acta Hort. 492: 38-46.
- Burnham, K.P. and D.R. Anderson. 2002. Model selection and multimodel inference: A practical information-theoretic Approach. New York: Springer Verlag.
- Fortune, R.A., J.I. Burke, T. Kennedy and E. Osullivan. 1999. Effect of early sowing on the growth, yield and quality of sugar beet. Crops Research center, Oak park, Carlow. 13 P.
- Muller, J., T. Behrens and W. Diepenbrock. 2006. Use of a new sigmoid growth equation to estimate organ area indices from canopy area index in winter oilseed rape (*Brassica napus L.*). Field Crops Res. 96: 279-295.
- Nanda, R. and A.D. Saini. 1987. Effect of temprature, day-length and humidity on the leaf appearance in greengram. Indian J. of Agric. Sci. 57 : 645-650.
- Richards, F.J. 1959. A flexible growth functions for empirical use. J. Exp. Bot. 10: 290-300.
- Royo, C., N. Aparicio, R. Blanco and D. Villegas. 2004. Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. Europ. J. Agron. 20: 419-430.

- Specht, J.E., D.J. Hume and S.V. Kumudini. 1999. Soybean yield potential- A genetic and physiological perspective. *Crop Sci.* 39:1560-1570.
- Timmermans, B.G.H., J. Vos, J. van Nieuwburg, T.J. Stomph and P.E.L. van der Putten. 2007. Germination rates of *Solanum sisymbriifolium*: temperature response models, effects of temperature fluctuations and soil water potential. *Seed Sci Res.* 17: 221-231.
- Villegas, D., N. Aparicio, R. Blanco and C. Royo. 2001. Biomass accumulation and main stem elongation of durum wheat growth under Mediterranean condition. *Ann. Bot.* 88: 617-627.
- Wagner, F. S. 2000. The health value of styrian pumpkin-seed. *Oil-science and fiction. Cucurbit genet. Coop.* 23: 122-123.
- Yin, X., J. Gouadrian, E.A. Latinga, J. Vos and J.H. Spiertz. 2003. A flexible sigmoid growth function of determinate growth. *Ann. Bot.* 91: 361-371.

Evaluating non-linear regression models for use in growth analysis of pumpkin (*Cucurbita pepo* L.)

H. Khalaj¹, M.R. Labbafi Hosein Abadi²

Received: 2018-6-10 Accepted: 2018-11-17

Abstract

This study was carried out to evaluate the growth of *Cucurbita pepo* L. using nonlinear regression models. The experiment was carried out in a randomized complete block design with three replications at the Research Farm of Abouraihan Campus, University of Tehran during the 2013. The planting date was April, June and Jul. In order to study the growth analysis, leaf area and dry weight changes were measured. Eight models were used to describe the dry weight variation (Logistic, Gompertz, Richards, Weibull, Linear Linear Expression, Symmetric Linear and Beta 1 and 2 models), and Three models (logistic, Gompertz and beta) were used to describe the trend of leaf area changes. The results showed that all of the used models described well the changes in dry weight and leaf area (day after planting) and can be used in growth analysis studies. In this research, a beta-1 model was used in all three sowing dates to estimate leaf area and dry matter index. Among the sowing dates, April and June had the highest leaf area index and dry matter, but July showed the lowest leaf area index and dry matter.

Key words: Pumpkin, nonlinear regression model, dry weight, leaf area.

1- Department of Agronomy, Payam Noor University, Tehran, Iran.

2- Medicinal Plants Research Center, Institute of Medicinal Plants, ACECR, Karaj, Iran