



به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۰ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۷
صفحه‌های ۲۹۸-۲۸۳

پیش‌بینی تولید ماده خشک و سطح برگ گیاه باقلا (*Vicia faba* L.) در تاریخ کاشت و تراکم‌های مختلف

نجیب‌الله ابراهیمی^۱، بنیامین ترابی^{۲*}، افشین سلطانی^۳، ابراهیم زینلی^۴

۱. دانشجوی کارشناسی‌ارشد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۲. استادیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۳. استاد، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
۴. دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۱۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۲۰

چکیده

برای آنالیز رشد گیاه در طول فصل رشد به داده‌های سطح برگ و تجمع ماده خشک نیاز است. استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی مثل بتا، لجستیک، گمپرتز، ریچاردز، نمایی خطی بریده و نمایی خطی متقارن به دلیل داشتن پارامترهایی با مفهوم فیزیولوژیک در آنالیز رشد در حال گسترش هستند. هدف از انجام تحقیق حاضر ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی مختلف، برای بررسی روند شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک و برآورد پارامترهای مربوط به آنالیز رشد است. مطالعه روی گیاه باقلا رقم «برکت» به صورت طرح اسپلیت-پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تاریخ کاشت و چهار تراکم در چهار تکرار در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان اجرا شد. معیار AICc نشان داد که مدل بتا نسبت به مدل لجستیک برای داده‌های سطح برگ برازش بهتری داشت. طبق این مدل در تراکم‌های مختلف LAI_{max} بین ۲/۳ تا ۵/۳، tm بین ۱۳۱/۹ تا ۱۴۴/۲ و te بین ۱۵۸/۷ تا ۱۶۳/۵ روز پس از کاشت متغیر بود. معیار AICc برای داده‌های تولید ماده خشک نشان داد که مدل بتا نسبت به مدل‌های گمپرتز و لجستیک در ارزیابی روند تولید ماده خشک بهتر بود. طبق این مدل W_{max} در تراکم‌های مختلف بین ۷۲۵/۱ تا ۱۴۸۴/۳ گرم در مترمربع، tm بین ۱۳۸/۳ تا ۱۴۶/۴ و te بین ۱۶۲/۶ تا ۱۷۹/۰ روز پس از کاشت متغیر بود. نتایج نشان داد عملکرد دانه از ۲۳۱ تا ۲۷۴۴ گرم در مترمربع متغیر بود و با افزایش تراکم در هر تاریخ کاشت عملکرد دانه روند افزایشی نشان داد. تغییرات عملکرد تحت تأثیر مستقیم حداکثر شاخص سطح برگ، حداکثر تجمع ماده خشک و سرعت رشد محصول قرار گرفت.

کلیدواژه‌ها: آنالیز رشد، ارزیابی، سرعت رشد محصول، مدل، معیار اطلاعاتی آکائیک.

۱. مقدمه

را تعیین کرد. بنابراین، بررسی عوامل مؤثر بر تولید ماده خشک و ارتباط بین آن‌ها کاملاً ضروری است. از طرفی ارتباط قوی بین افزایش شاخص سطح برگ با مقدار تشعشع خورشیدی جذب شده و در نهایت تولید ماده خشک وجود دارد [۲ و ۷]. توسعه کُند سطح برگ موجب توسعه ضعیف پوشش گیاهی و جذب کمتر تابش خواهد شد که نهایتاً باعث کاهش سرعت رشد محصول و به دنبال آن کاهش عملکرد می‌شود [۴].

دو روش برای کمی کردن پارامترهای آنالیز رشد وجود دارد: روش کلاسیک و روش رگرسیونی. در روش کلاسیک آنالیز رشد، پارامترهای رشد مقادیری هستند که در میانگین فاصله زمانی بین دو نمونه گیری برآورد می‌شوند. معادلاتی که برای محاسبه این پارامترها در فاصله دو نمونه گیری استفاده می‌شود از طریق معادلات چندجمله‌ای و انتگرال گیری فرمول‌ها و سپس تقسیم بر زمان بین دو نمونه‌گیری به دست می‌آید [۱۱، ۱۴، ۲۰ و ۲۷].

در روش رگرسیونی، از مدل‌های رگرسیونی (خطی و غیرخطی) برای تعیین پارامترهای رشد استفاده می‌شود. در این روش معادلات رگرسیون بر داده‌های ماده خشک برآزش داده می‌شوند که ضرایب این معادلات دارای مفهوم فیزیولوژیک و نشان دهنده پارامترهای رشد هستند [۲۰، ۲۹، ۳۲ و ۲۸]. اما یک عیب که در پارامترهای مدل‌های رگرسیونی خطی (مثل معادله درجه دوم) وجود دارد این است که از لحاظ فیزیولوژیک معنا و مفهوم خاصی ندارند و معمولاً از این مدل‌ها برای بررسی روند ماده خشک و سطح برگ در طی زمان استفاده می‌کردند. [۱۳، ۱۴، ۲۰، ۲۷ و ۳۴].

از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی شامل مدل‌های لجستیک^۵، گومپرتز^۶، ریچاردز^۷، نمای خطی^۸، نمای خطی

باقلا (*Vicia faba* L.) متعلق به خانواده Fabaceae و یکی از حبوبات عمده در منطقه خاورمیانه است که به دلیل وجود ۲۳/۴ درصد پروتئین در دانه خشک این گیاه، برای تغذیه انسان و دام توجه زیادی به آن شده است [۱ و ۳۳]. برای بررسی کمی رشد، نمو و تولید گیاهان زراعی آنالیز رشد روش با ارزشی به شمار می‌رود [۱۳ و ۲۰] که می‌تواند برای توجیه و تفسیر واکنش گیاهان نسبت به شرایط مختلف در طول دوره رشد استفاده شود [۱۰]. تجزیه و تحلیل مراحل رشد گیاه روش کمی مفید برای توصیف عملکرد سیستم گیاهی و درک مشکلات فیزیولوژیکی رشد است. برای تجزیه و تحلیل رشد گیاه در طول فصل رشد دسترسی به اطلاعات دقیق و منظم گیاه نیاز است که این داده‌ها با اندازه‌گیری سطح برگ و تجمع ماده خشک به دست خواهد آمد. شاخص سطح برگ و ماده خشک دو جزء اصلی آنالیز رشد به شمار می‌روند که از طریق آن‌ها پارامترهای آنالیز رشد مانند سرعت رشد محصول^۱ (CGR)، سرعت رشد نسبی^۲ (RGR)، سرعت جذب خالص^۳ (NAR) و دوام سطح برگ^۴ (LAD) قابل محاسبه است [۲۶ و ۳۴].

سطح برگ متغیری کلیدی برای مطالعات فیزیولوژیکی شامل رشد گیاه، جذب نور، کارایی فتوسنتزی، تبخیر و تعرق و پاسخ گیاه به کودها و آبیاری است [۱۵]. بنابراین، سطح برگ به شدت رشد و تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بررسی روند تغییرات آن در طی زمان یکی از اجزای اساسی مدل‌های رشد محصولات است [۲۳]. تجمع ماده خشک در قسمت‌های هوایی گیاه یکی از متغیرهای دیگری است که از طریق آن می‌توان پارامترهای آنالیز رشد

5. Logistic
6. Gompertz
7. Richards
8. Exponential

1. Crop Growth Rate
2. Relative Growth Rate
3. Net Assimilation Rate
4. Leaf Area Duration

بودند. بذرها به صورت دستی و با فاصله ردیف ثابت ۵۰ و عمق ۵ سانتی متر کشت شدند. موقع کاشت مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۳۵ کیلوگرم در هکتار کود اوره به خاک اضافه شد. مبارزه با آفات و بیماری‌ها و علف‌های هرز در مواقع ضروری صورت گرفت.

نمونه‌گیری از تمام کرت‌ها از مرحله ۶ تا ۸ برگی تا پایان مرحله رشد در فاصله زمانی هر ۷ تا ۱۰ روز انجام شد. در هر نمونه برداری سطح برگ بوته براساس ۵ بوته با دستگاه سطح برگ سنج دلتاتی^۴ اندازه‌گیری شد. وزن خشک بوته‌ها به تفکیک برگ و سایر اندام‌ها در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد تا رسیدن به وزن ثابت با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

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

۱- مدل بتا [۳۴]:

$$LAI = LAI_{max} \left[\left(\frac{t_e - t}{t_e - t_m} \right) \left(\frac{t - t_b}{t_m - t_b} \right)^{\frac{t_m - t_b}{t_m - t_b}} \right]^{\delta}$$

که در این مدل t ، زمان پس از کاشت (روز)، LAI_{max} حداکثر شاخص سطح برگ، t_b زمان شروع رشد، t_m زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ، t_e زمان پایان رشد برگ که در آن شاخص سطح برگ صفر می‌باشد و δ ضریبی ثابت در مدل است.

۲- مدل لجستیک [۱۱ و ۳۰]:

$$LAI = \frac{ae^{-a(t-t_m)(c)}}{(1+e^{-a(t-t_m)})^2}$$

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

بریده^۱، نمایی خطی متقارن^۲ و بتا^۳ برای آنالیز رشد استفاده شده‌اند [۱۱، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۳۰، ۳۱ و ۳۲]. این مدل‌ها بر تیمارهای مختلف برآزش داده می‌شوند و با کمک برآورد پارامترهای مدل می‌توان تیمارها را با هم مقایسه کرد. مطالعه‌ای روی گندم با استفاده از مدل‌های رگرسیونی مختلف، برای تخمین سطح برگ و تجمع ماده خشک استفاده شده است [۵، ۶ و ۸]. همچنین از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی برای تخمین سطح برگ و تجمع ماده خشک در گلرنگ استفاده شده است [۳]. این مطالعه به منظور ارزیابی مدل‌های رگرسیونی غیرخطی مختلف برای بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ و تولید ماده خشک و برآورد پارامترهای مربوط به آنالیز رشد انجام شد تا بتوان با مشخص کردن مناسب‌ترین مدل برآورد درستی از سطح برگ و تولید ماده خشک گیاه باقلا داشت.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۲۰ متری از سطح دریا با متوسط بارندگی ۶۰۷ میلی‌متر، میانگین دمای ۱۳ درجه سانتی‌گراد و نوسان دمایی ۱۰ درجه سانتی‌گراد در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. زمین استفاده شده برای آزمایش، دارای خاکی با بافت لوم رسی سیلتی است. این آزمایش بر گیاه باقلا رقم «برکت» به صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تاریخ کاشت (۶ آذر، ۴ دی و ۱۱ بهمن) و تراکم (۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع)

1. Truncated Exponential
2. Symmetrical Exponential
3. Beta

4. Delta T Device

برازش مدل‌ها بر داده‌های سطح برگ و تولید ماده خشک و نیز تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری^۱ با کمک رویه PROC NLIN نرم‌افزار SAS/9 صورت گرفت [۹]. در روش مطلوب‌سازی تکراری مقادیر اولیه پارامترها هر بار وارد شده، که مقادیر نهایی آن با روش کمترین توان‌های دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر تا وقتی صورت گرفت که بهترین برآورد از پارامتر به دست آید. بهترین برآورد پارامترهای مدل براساس خطای معیار^۲ (SE) کمتر پارامترهای مدل به دست آمد. برای مقایسه مدل‌های مختلف توصیف‌کننده شاخص سطح برگ و ماده خشک در طی فصل رشد از معیار زیر استفاده شد:

(۱) ضرایب رگرسیون ساده خطی (a و b) بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر واقعی: ضرایب a و b به ترتیب نشان‌دهنده مقدار انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و مقدار شیب خط رگرسیون از خط ۱:۱ هستند. اگر نقاط پیش‌بینی شده روی خط ۱:۱ قرار گیرند، نشان‌دهنده ایده‌آل بودن مدل است. خط ۱:۱ دارای عرض از مبدأ صفر (a=0) و شیب ۴۵ درجه (b=1) است.

(۲) جذر میانگین مربعات خطا بین مقدار پیش‌بینی و مشاهده شده:

$$L_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}$$

که در آن O_i ، مقدار واقعی و P_i ، مقدار پیش‌بینی شده از سطح برگ یا ماده خشک تولیدی است. n تعداد مشاهدات است.

(۳) ضریب تغییرات (CV) بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده سطح برگ یا ماده خشک. مقدار پایین‌تر CV نشان‌دهنده برتری مدل است.

برای توصیف روند تغییرات ماده خشک (W) در برابر زمان پس از کاشت (t) مدل‌های رگرسیونی غیرخطی زیر استفاده شدند:

۱. مدل بتا [۱۱، ۳۲ و ۳۴]:

$$W = W_{max} \frac{t}{t_m + t}$$

که در آن W_{max} ، حداکثر مقدار 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. مقدار سرعت رشد محصول در این مدل با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$c_m = \frac{W_{max}}{t_m}$$

که در آن c_m ، سرعت رشد محصول (گرم بر مترمربع در روز)؛ t_e ، زمان پایان تولید رشد؛ t_m ، زمانی است که سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار خود می‌رسد و W_{max} حداکثر مقدار تجمع ماده خشک است.

۲. مدل لجستیک [۱۱، ۳۲ و ۳۴]:

$$L_2 = \frac{c_m W_{max}}{1 + e^{-k(W_{max} - W)}}$$

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 آن زمان مقدار ماده خشک به نصف مقدار حداکثر خود رسیده است). در زمان t_m برابر است با $k/2$. معادله لجستیک در زمان t_m به صورت متقارن است.

۳. مدل گمپرتز [۱۱، ۱۹، ۳۲ و ۳۴]:

$$L_3 = \frac{W_{max}}{1 + e^{-k(t - t_m)}}$$

در این مدل نیز W_{max} حداکثر مقدار تجمع ماده خشک، k، ضریب نشان‌دهنده تندی افزایش ماده خشک و t_m ، زمانی که سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار خود می‌رسد. طبق مدل گمپرتز، در زمان t_m ، مقدار RGR برابر با مقدار ضریب k است.

1. Iterative Optimization
2. Standard Error

دو مدل برای توصیف روند تغییرات سطح برگ در طی زمان است (جدول ۱). همچنین نتایج نشان داد که مدل بتا نسبت به مدل لجستیک دارای RMSE و CV کمتر و مقدار r بزرگتری است که این دلالت بر دقت نسبتاً بالای مدل بتا دارد (جدول ۱). مقایسه بیشتر این دو مدل با معیار اطلاعاتی آکائیک (AICc) نیز نشان داد که در همه تراکم‌ها مدل بتا نسبت به مدل لجستیک دارای AICc کمتری است که این امر حاکی از برتری مدل بتا نسبت به مدل لجستیک در توصیف روند تغییرات سطح برگ طی زمان است (جدول ۱). همچنین، بررسی بیشتر نشان داد مدل بتا در تراکم‌های ۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع با احتمال بیش از ۹۴ درصد روند تغییرات سطح برگ طی زمان را نسبت به مدل لجستیک درست‌تر توصیف می‌کند، در حالی که در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع با احتمال ۵۵ درصد مدل لجستیک درست‌تر بود (جدول ۲). اما به دلیل تفاوت اندک مدل بتا و لجستیک در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و نیز به دلیل درست بودن مدل بتا در سایر تراکم‌ها، مدل بتا برای توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ در طی زمان انتخاب شد.

توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ گیاه باقلا با استفاده از دو مدل رگرسیونی غیرخطی بتا و لجستیک در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس مدل بتا، مشاهده شد با افزایش تراکم حداکثر شاخص سطح برگ روند صعودی دارد. به طوری که حداکثر شاخص سطح برگ در تراکم ۵ بوته در مترمربع از ۲/۳ به ۵/۳ در تراکم ۳۵ بوته در مترمربع افزایش یافت (جدول ۳). این امر بیانگر این است که با افزایش تراکم احتمالاً گیاه توانسته است حداکثر شاخص سطح برگ را از طریق افزایش در تعداد برگ و یا سطح تک برگ تولید کند [۵]. زمان شروع رشد برگ (t_b) بین تراکم‌های مورد مطالعه به دلیل عدم برآزش مدل بر داده‌ها به‌طور ثابت ۵۰ روز در نظر گرفته شد (جدول ۳).

(۴) ضریب همبستگی (r) بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده سطح برگ یا ماده خشک. مقدار بالاتر r نشان‌دهنده برتری مدل است.

(۵) معیار اطلاعاتی آکائیک (AICc): مدلی که مقدار AICc کمتری دارد به احتمال زیاد درست‌تر است.

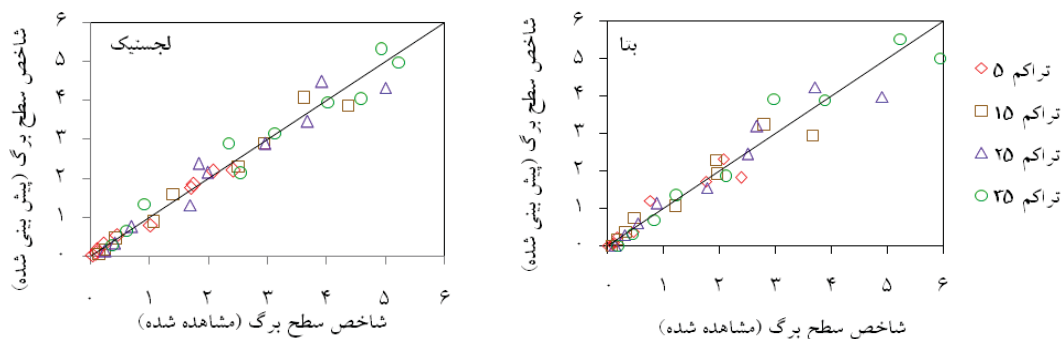
$$AICc = N \cdot \ln(SSE/N) + 2k + \frac{2k(k+1)}{N-k-1}$$
 که در آن N ، تعداد مشاهدات؛ k ، تعداد پارامتر مدل به علاوه یک و SSE ، مجموع مربعات خطای مدل است. برای محاسبه احتمال درست تر بودن مدل با AICc کمتر نسبت به هر کدام از مدل‌های دیگر (Prob) از رابطه زیر استفاده شد:

$$Prob = \exp(-0.5\Delta) / (1 + \exp(-0.5\Delta))$$
 که در آن Δ ، اختلاف بین مقادیر AICc در دو مدل، بررسی شده است.

برآزش مدل‌های مختلف بر داده‌های سطح برگ و تجمع ماده خشک، تجزیه واریانس داده‌های عملکرد و مقایسه میانگین آن‌ها با روش LSD با استفاده از نرم‌افزار SAS انجام شد. مقایسه پارامترهای مدل بین تراکم‌های مختلف با استفاده از حدود اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. نتایج مربوط به برآزش مدل‌های مختلف برای تاریخ کاشت دوم و سوم در این مطالعه نشان داده نشده است.

۳. نتایج و بحث

شکل ۱ شاخص سطح برگ مشاهده‌شده در مقابل پیش‌بینی‌شده در اطراف خط ۱:۱ را با دو مدل بتا و لجستیک نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل نشان داده شده است داده‌ها به خوبی در اطراف خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند. معنادار نبودن ضرایب a و b خط رگرسیون خطی بین داده‌های شاخص سطح برگ مشاهده شده و پیش‌بینی شده به ترتیب با صفر و یک نشان‌دهنده کارایی مناسب این



شکل ۱. شاخص سطح برگ پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده در گیاه باقلا رقم برکت در چهار تراکم مختلف برای مدل‌های بتا و لجستیک. علائم لوزی، مربع، مثلث و دایره به ترتیب نشان‌دهنده تراکم ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع هستند.

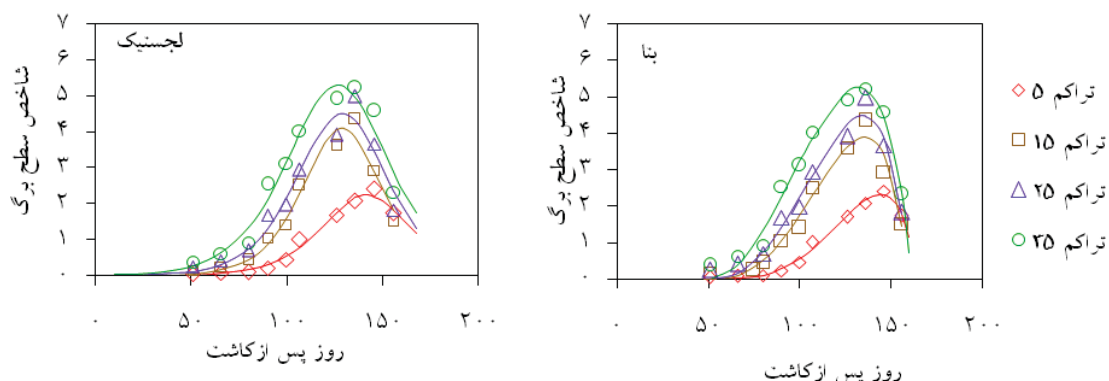
جدول ۱. ضریب رگرسیون خطی ساده (a و b)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب همبستگی (r) و معیار اطلاعاتی آکائیک (AICc) بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده شاخص سطح برگ برای مدل‌های بتا و لجستیک در گیاه باقلا رقم برکت.

مدل	تراکم	a±SE	b±SE	RMSE	CV	R	AICc
بنّا	۵	-۰/۰۱±۰/۰۴۷	۰/۰۳۵±۱/۰۰	۰/۱	۱۰/۱	۰/۹۹	-۲۴/۴
	۱۵	۰/۱۵±۰/۰۱	۰/۰۶۵±۰/۹۸	۰/۳	۱۵/۹	۰/۹۸	-۲/۹
	۲۵	۰/۱۶۵±۰/۰۹	۰/۰۶۱±۰/۰۱	۰/۳	۳,۱۳	۰/۹۹	-۲/۴
	۳۵	۰/۱۵۹±۰/۱۱	۰/۰۴۷±۱/۰۳	۰/۳	۱۰/۰	۰/۹۹	-۴/۶
لجستیک	۵	۰/۰۶۱±۰/۰۲	۰/۰۴۶±۰/۹۸	۰/۱	۱۳/۰	۰/۹۹	-۱۹/۰
	۱۵	۰/۱۴۸±۰/۰۱	۰/۰۶۴±۰/۹۸	۰/۳	۱۵/۶	۰/۹۸	-۳/۳
	۲۵	۰/۲۲۵±۰/۰۵	۰/۰۸۳±۰/۹۷	۰/۴	۱۸/۱	۰/۹۷	۳/۷
	۳۵	۰/۲۳۳±۰/۱۳	۰/۰۷۰±۰/۹۵	۰/۴	۱۳/۱	۰/۹۸	۲/۹

جدول ۲. درستی مدل بتا نسبت به مدل‌های لجستیک و گمپرتز در تراکم‌های مختلف.

شاخص‌های رشد	تراکم			
	۳۵	۲۵	۱۵	۵
شاخص سطح برگ	۰/۹۶	۰/۹۶	۰/۵۵	۰/۹۴
تجمع ماده خشک	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۶۲	۰/۹۹
تجمع ماده خشک	۰/۵۰	۰/۸۵	۰/۹۳	۰/۹۴

پیش‌بینی تولید ماده خشک و سطح برگ گیاه باقلا (*Vicia faba* L.) در تاریخ کاشت و تراکم‌های مختلف



شکل ۲. توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ گیاه باقلا رقم برکت با مدل‌های بتا و لجستیک. علائم لوزی، مربع، مثلث و دایره به ترتیب نشان‌دهنده تراکم ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع هستند.

جدول ۳. مقادیر پارامترهای مدل‌های بتا و لجستیک در توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ در گیاه باقلا رقم برکت.

تراکم				پارامتر	مدل
۳۵	۲۵	۱۵	۵		
۵/۳ (۰/۱۷)	۴/۵ (۰/۲۰)	۳/۹ (۰/۱۹)	۲/۳ (۰/۰۷)	LAI _{max} (SE)	بتا
۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	t _b (SE)*	
۱۳۱/۹ (۰/۹۶)	۱۳۴/۶ (۱/۱۴)	۱۳۵/۷ (۱/۲۲)	۱۴۴/۲ (۰/۷۶)	t _m (SE)	
۱۶۰/۹ (۱/۰۹)	۱۵۹/۴ (۱/۰۷)	۱۵۸/۷ (۰/۹۹)	۱۶۳/۵ (۱/۳۳)	t _e (SE)	
۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	Delta	
۰/۱ (۰/۰۰۴)	۰/۱ (۰/۰۱)	۰/۱ (۰/۰۱)	۰/۱ (۰/۰۰۴)	a (SE)	لجستیک
۳۷۹/۰ (۲۱/۷۱)	۲۲۸/۵ (۱۲/۷۵)	۲۲۸/۵ (۱۲/۷۵)	۱۴۰/۵ (۹/۲۱)	c (SE)	
۱۲۶/۸ (۱/۶۸)	۱۲۹/۲ (۱/۳۹)	۱۲۹/۲ (۱/۳۹)	۱۴۱/۷ (۱/۷۰)	t _m (SE)	

موجب کاهش عبور نور به بخش پایین کانونی می‌شود و رقابت بیشتر بوته‌ها برای دریافت نور باعث می‌شود که برگ‌ها سریع‌تر به پیری رسیده و ریزش نمایند [۵ و ۶]. شکل ۳، تولید ماده خشک پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده در اطراف خط ۱:۱ را با سه مدل بتا، لجستیک و گمپرتز نشان می‌دهد. آن‌چنان‌که در شکل نشان داده می‌شود، داده‌ها به خوبی در اطراف خط ۱:۱ قرار

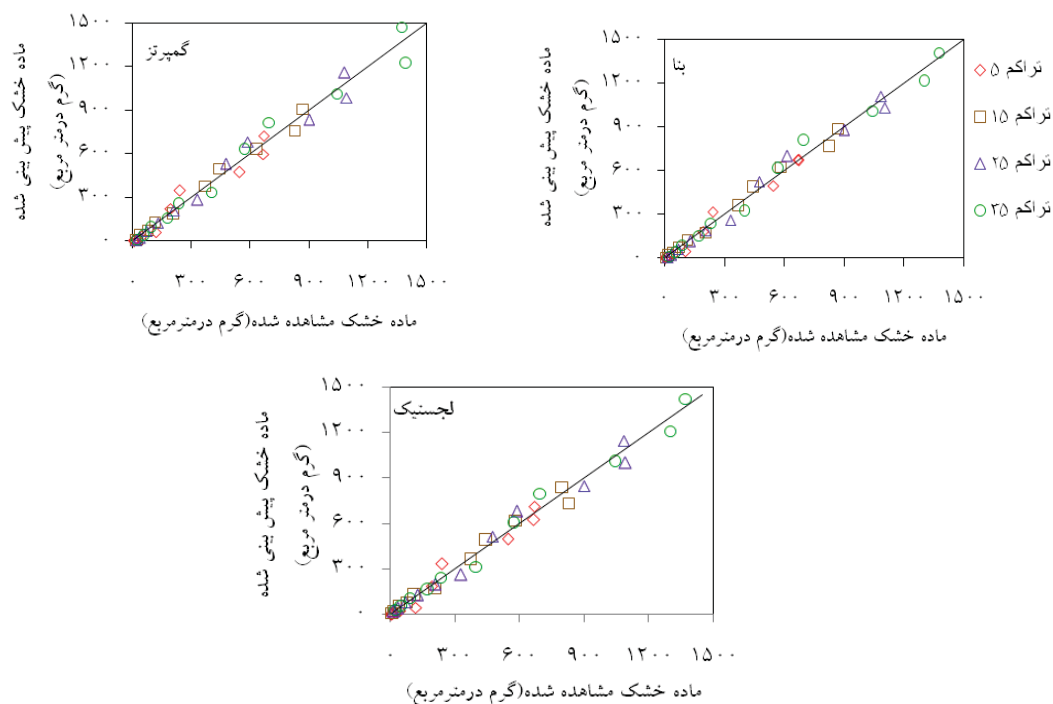
زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ (t_m) از تراکم ۵ به ۳۵ بوته در مترمربع روند کاهشی داشت به طوری که مقدار آن از ۱۴۴/۲ روز در تراکم ۵ بوته در مترمربع به ۱۳۱/۹ روز در تراکم ۳۵ بوته در مترمربع رسید (جدول ۳). زمان پایان رشد برگ (t_e) در تراکم‌های مختلف بین ۱۵۸/۷ تا ۱۶۳/۵ روز متغیر بود و بین تراکم‌ها از این لحاظ اختلاف معناداری مشاهده نشد (جدول ۳). افزایش تراکم

گرفته‌اند. معنادار نبودن ضرایب a و b رگرسیون خطی بین داده‌های تولید ماده خشک، پیش‌بینی و مشاهده شده به ترتیب با صفر و یک، نشان دهنده کارایی مناسب این دو مدل برای توصیف روند تغییرات تولید ماده خشک در طی زمان است (جدول ۴). نتایج نشان داد مقدار r در هر سه مدل تقریباً مشابه بود ($r \geq 0.97$). مدل بتا نسبت به مدل گمپرتز و لجستیک دارای $RMSE$ و CV کمتر بود که این دلالت بر دقت نسبتاً بهتر مدل بتا دارد (جدول ۴). نتایج مقایسه مدل‌ها با استفاده از $AICc$ نشان داد در اکثر تراکم‌ها مدل بتا نسبت به مدل گمپرتز و لجستیک دارای $AICc$ کمتری است که این نشان دهنده درست‌تر بودن مدل بتا نسبت به دو مدل دیگر در توصیف روند تغییرات ماده خشک در طی زمان است (جدول ۴). بررسی بیشتر نشان داد مدل بتا در تراکم‌های ۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع با احتمال بیش از ۹۴ درصد و در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع با احتمال ۶۲ درصد روند تغییرات تجمع ماده خشک طی زمان را نسبت به مدل گمپرتز درست‌تر توصیف می‌کند. همچنین، مدل بتا در تراکم‌های ۵، ۱۵ و ۲۵ بوته در مترمربع با احتمال بیش از ۸۵ درصد نسبت به مدل لجستیک در برازش بر داده‌ها درست‌تر بود، ولی در تراکم ۳۵ بوته در مترمربع هیچ‌یک از این دو مدل بر دیگری ارجحیت نداشت. به هر حال، با استفاده از معیارهای فوق مدل بتا برای توصیف روند تغییرات ماده خشک در طی زمان، نسبت به دو مدل دیگر، مدل برتر شناخته شد (جدول ۲).

توصیف روند تغییرات تجمع ماده خشک گیاه باقلا با استفاده از سه مدل بتا، لجستیک و گمپرتز در شکل ۴ نشان داده شده است. روند تغییرات تجمع ماده خشک در تمامی تراکم‌های مختلف مشابه بود (شکل ۴). به‌طوری‌که گیاه به دلیل داشتن مرحله روزت، در مراحل اولیه، رشد کندی داشته و افزایش وزن خشک در این دوره نسبت به زمان، ناچیز است. در این دوره گیاه منحصر به تولید برگ و

افزایش وزن خشک در برگ‌ها بوده است. پس از مرحله روزت، گیاه وارد مرحله رشد خطی می‌شود، در این مرحله گیاه دارای رشد سریع است و وزن خشک کل گیاه به سرعت افزایش می‌یابد. این امر ناشی از افزایش تجمع ماده خشک در برگ‌ها و ورود گیاه به مرحله ساقه‌روی و افزایش سریع وزن خشک ساقه‌ها است. مرحله سوم رشد، پس از رشد خطی آغاز می‌شود. در این مرحله، به دلیل پیری و کاهش سطح برگ، روند تجمع ماده خشک کند می‌شود. نتایج نشان داد بین تراکم‌ها از نظر حداکثر تجمع ماده خشک اختلاف معنادار وجود دارد (جدول ۵). به‌طوری‌که تراکم ۳۵ بوته در مترمربع، بیشترین ($1484/3$ گرم بر مترمربع) و تراکم ۵ بوته در مترمربع، کم‌ترین تجمع ماده خشک ($725/1$ گرم بر مترمربع) را دارا بودند. افزایش ماده خشک در تراکم ۳۵ بوته در مترمربع را می‌توان به دلیل دریافت بیشتر تشعشع خورشیدی و رشد و توسعه بیشتر برگ‌ها و در نهایت افزایش سرعت رشد و تجمع مواد فتوسنتزی بیشتر دانست [۱۷]. همان‌طور که پیشتر بیان شد، تراکم ۵ بوته در مترمربع کم‌ترین شاخص سطح برگ را نسبت به تراکم‌های دیگر تولید کرد، که سبب کاهش سطح فتوسنتزکننده، کاهش فتوسنتز خالص و در نتیجه کاهش ماده خشک تجمع یافته در این تراکم شد [۴]. از لحاظ زمان رسیدن به نصف حداکثر ماده خشک (t_m) در بین تراکم‌های مختلف، روند خاصی مشاهده نشد و بین $138/3$ تا $146/4$ روز متغیر بود (جدول ۵). نتایج نشان داد در بین تیمارهای مختلف تراکم کاشت زمان پایان دوره رشد (t_e) در بازه زمانی $162/6$ تا 179 روز پس از کاشت محدود شد که اختلاف معناداری بین تراکم‌های مختلف کاشت از نظر زمان پایان دوره رشد وجود نداشت (جدول ۵). سرعت رشد محصول (C_m) در تراکم‌های مختلف بین $14/22$ تا $20/84$ گرم بر مترمربع در روز متغیر بود که این تنوع C_m به دلیل وجود تفاوت در پارامترهایی مانند t_m و t_e در این تراکم‌ها بود (جدول ۵).

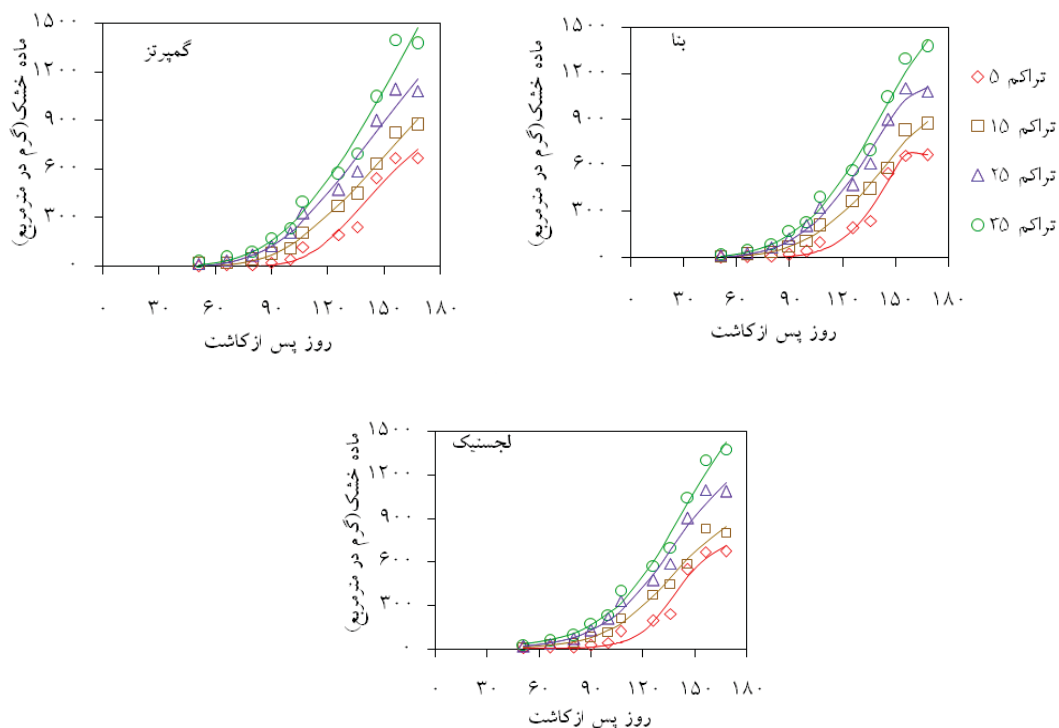
پیش‌بینی تولید ماده خشک و سطح برگ گیاه باقلا (*Vicia faba L.*) در تاریخ کاشت و تراکم‌های مختلف



شکل ۳. تولید ماده خشک پیش‌بینی شده در مقابل مشاهده شده در گیاه باقلا رقم برکت در چهار تراکم مختلف برای مدل‌های بنا، گمپرتز و لجستیک. علائم لوزی، مربع، مثلث و دایره به ترتیب نشان‌دهنده تراکم ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع هستند.

جدول ۴. ضریب رگرسیون خطی ساده (a و b)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب همبستگی (r) و معیار اطلاعاتی آکائیک (AICc) بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده ماده خشک تولیدی برای مدل‌های بنا، گمپرتز و لجستیک در گیاه باقلا رقم برکت.

AICc	R	CV	RMSE	b±SE	a±SE	تراکم	مدل‌های غیرخطی
۹۹/۹	۱/۰۰	۹/۹	۳۲/۱	۰/۰۳۲±۰/۹۹	۱۴/۰۶۱±۴/۴۵	۵	بنا
۹۶/۹	۱/۰۰	۹/۹	۳۲/۱	۰/۰۳۲±۰/۹۹	۱۴/۰۶۱±۴/۴۵	۱۵	
۱۰۶/۳	۰/۹۹	۱۰/۷	۴۸/۴	۰/۰۳۶±۰/۹۸	۲۱/۷۸۳±۱۳/۶۳	۲۵	
۱۰۹/۷	۰/۹۹	۱۰/۵	۵۷/۲	۰/۰۳۶±۰/۹۹	۲۵/۸۸۶±۱۲/۲۳	۳۵	
۱۰۹/۳	۰/۹۸	۲۴/۴	۵۷/۱	۰/۰۶۶±۰/۹۸	۲۲/۳۷۹±۱۱/۳۱	۵	گمپرتز
۹۷/۹	۱/۰۰	۱۰/۱	۳۳/۵	۰/۰۳۳±۰/۹۹	۱۴/۶۷۷±۴/۹۶	۱۵	
۱۱۱/۷	۰/۹۹	۱۴/۱	۶۳/۰	۰/۰۴۸±۰/۹۹	۲۸/۶۶۴±۶/۱۸	۲۵	
۱۱۸/۰	۰/۹۹	۱۵/۲	۸۴/۱	۰/۰۵۲±۰/۹۹	۳۸/۰۶۶±۷/۶۹	۳۵	
۱۰۵/۵	۰/۹۹	۲۰/۱	۴۶/۱	۰/۰۵۳±۰/۹۷	۱۸/۲۵۹±۱۴/۵۰	۵	لجستیک
۱۰۲/۰	۰/۹۹	۴۰/۷	۱۲/۸	۱/۰۰۴±۱/۰۰	۱۸/۱۶۹±۰/۱۸	۱۵	
۱۰۹/۸	۰/۹۹	۱۲/۹	۵۸/۰	۰/۰۴۵±۱/۰۰	۲۶/۵۰۵±۱/۵۰	۲۵	
۱۰۹/۷	۰/۹۹	۱۰/۷	۵۷/۸	۰/۰۳۷±۱/۰۰	۲۶/۵۰۲±۰/۶۶	۳۵	



شکل ۴. توصیف روند تولید ماده خشک گیاه باقلا رقم برکت با مدل‌های بتا، گمپرتز و لجستیک. علائم لوزی، مربع، مثلث و دایره به ترتیب نشان‌دهنده تراکم ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع هستند.

جدول ۵. مقادیر پارامترهای مدل‌های بتا، گمپرتز و لجستیک در توصیف روند تغییرات تولید ماده خشک در گیاه باقلا رقم برکت.

مدل	پارامتر	تراکم			
		۳۵	۲۵	۱۵	۵
بتا	W_{max}	۱۴۸۴/۳ (۱۷۹/۱)	۱۱۱۲/۰ (۴۶/۱۴۲)	۹۲۱/۰ (۸۱/۰۶۳)	۷۲۵/۱ (۳۳/۹۹۲)
	t_m	۱۴۴/۳ (۶/۲۵۹)	۱۳۸/۳ (۲/۳۵۰)	۱۴۵/۲ (۴/۳۷۰)	۱۴۶/۴ (۱/۳۷۹)
	t_c	۱۷۹/۰ (۱۱/۸۴۵)	۱۶۷/۲ (۴/۵۴۷)	۱۷۵/۹ (۸/۲۴۳)	۱۶۲/۶ (۱/۳۶۱)
	C_m	۲۰/۸۴	۱۸/۲۰	۱۴/۲۲	۱۹/۰۶
گمپرتز	W_{max}	۳۵۰۰/۶ (۲۰۴۸/۰)	۲۱۱۱/۴ (۷۹۱/۳)	۱۷۶۲/۵ (۴۹۵/۹)	۱۰۹۸/۶ (۴۴۳/۵)
	t_m	۱۵۹/۲ (۳۵/۵۶۳)	۱۴۲/۴ (۲۰/۴۷۷)	۱۴۷/۶ (۱۴/۷۸۶)	۱۴۰/۶ (۱۴/۵۴۴)
	K	۰/۰۲ (۰/۰۰۷)	۰/۰۲ (۰/۰۰۶)	۰/۰۲ (۰/۰۰۵)	۰/۰۳ (۰/۰۱۵)
	W_{max}	۱۹۰۶/۰ (۲۸۵/۰)	۱۳۸۶/۰ (۱۹۱/۴)	۱۰۱۰/۹ (۱۲۴/۷)	۷۷۰/۲ (۹۱/۷۳۰)
لجستیک	t_m	۱۴۳/۵ (۷/۹۰۳)	۱۳۷/۲ (۶/۰۸۰)	۱۳۷/۰ (۷/۱۰۱)	۱۳۹/۲ (۴/۰۷۰)
	K	۰/۰۴ (۰/۰۰۶)	۰/۰۵ (۰/۰۰۸)	۰/۰۵ (۰/۰۰۸)	۰/۰۹ (۰/۰۲۱)

*(SE) خطای معیار

بوته در مترمربع با عملکرد ۲۰۴۲/۲ گرم در مترمربع و کم‌ترین عملکرد را تراکم ۵ بوته در مترمربع با عملکرد ۲۳۱/۶ گرم در مترمربع داشتند. اما، در این تاریخ کاشت تراکم‌های ۱۵ و ۲۵ بوته در مترمربع اختلاف معناداری با یکدیگر نشان ندادند (جدول ۷). به‌طور کلی بین تاریخ کاشت‌های مختلف از نظر عملکرد دانه در سطح احتمال ادرصد اختلاف معناداری وجود داشت (جدول ۷). مقایسه‌های میانگین مربوط به تاریخ‌های مختلف کاشت نشان داد که تاریخ کاشت اول و دوم به‌ترتیب با مقادیر ۱۴۹۵/۲۰ و ۱۴۹۰/۵ گرم در مترمربع بیشترین عملکرد دانه و تاریخ کاشت سوم با میانگین ۱۰۰۹/۸ گرم در مترمربع کم‌ترین عملکرد را دارا بود (جدول ۷). وجود عوامل محیطی مناسب در تاریخ کاشت اول و دوم که از نگاه عملکرد دانه با هم تفاوت معناداری ندارند، نظیر تشعشع خورشیدی و درجه حرارت مطلوب در زمان گل‌دهی و پرشدن دانه موجب افزایش بازده فتوسنتزی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه در این تاریخ‌های کاشت شده است. در تاریخ کاشت سوم عواملی مانند دوام سطح برگ پایین، جذب کمتر تشعشع در طی مرحله رشد رویشی، کوتاه شدن دوره رشد زایشی و برخورد مرحله گل‌دهی و مراحل پس از آن با دمای بالا سبب اختلال در انتقال مواد ذخیره‌ای به دانه‌ها شده و در نهایت کاهش عملکرد را به دنبال داشته است [۴ و ۱۸].

نتایج نشان داد که بین حداکثر تجمع ماده خشک، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول با عملکرد دانه همبستگی معنادار و مثبتی وجود دارد (جدول ۸). بنابراین، بیش‌تر بودن شاخص سطح برگ در تاریخ کاشت اول و دوم علت اصلی بالاتر بودن عملکرد دانه در این تاریخ‌های کاشت است. با کاهش شاخص سطح برگ، نور کمتری در دوره رشد گیاه دریافت و در نتیجه به‌علت فتوسنتز کمتر طی دوره رشد، عملکرد دانه کاهش یافت [۴ و ۲۴].

در مطالعه‌ای، مدل بتا ۱ و ۶ مدل دیگر (لجستیک، ریچاردز، گومپرتز، ویبول و دو معادله نمایی بریده و متقارن) از نظر دقت پیش‌بینی تجمع وزن خشک دانه (در شش ژنوتیپ گندم)، تجمع وزن خشک تک بوته (ذرت) و همچنین تجمع وزن خشک کل در واحد سطح (نخودفرنگی و گندم) در طول فصل رشد، ارزیابی شده‌اند [۳۴]. در این مطالعه، مدل نمایی بریده و مدل بتا ۱ نسبت به سایر مدل‌ها دقت پیش‌بینی مناسب‌تری داشت. همچنین در مطالعه دیگر، مدل لجستیک با ۷ مدل دیگر (بتا ۱، بتا ۲، ویبول، ریچاردز، نمایی متقارن، نمایی بریده و گومپرتز) مقایسه شده است که نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد که مدل لجستیک نسبت به سایر مدل‌ها برازش مناسب‌تری داشت [۱۱]. همچنین نتایج حاصل از مقایسه دقت مدل لجستیک با ۵ مدل دیگر (گومپرتز، بتا، ریچاردز، نمایی بریده و نمایی متقارن) به‌منظور پیش‌بینی تجمع وزن خشک کل گل‌رنگ نشان داد که مدل لجستیک نسبت به سایر مدل‌ها دقت برازش مناسب‌تری داشت [۳۲].

نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم، برای صفت عملکرد دانه در سطح احتمال ادرصد معنادار بود (جدول ۶). در تاریخ کاشت نخست بیش‌ترین عملکرد دانه مربوطه به تراکم ۳۵ بوته در متر مربع با عملکرد ۲۶۳۷/۲۵ گرم در مترمربع بود و کم‌ترین عملکرد دانه در این تاریخ کاشت در تراکم ۵ بوته در متر مربع با عملکرد ۶۳۲/۰۸ گرم در مترمربع مشاهده شد که تراکم‌ها در این تاریخ کاشت همه تفاوت معنادار با هم داشتند (جدول ۷). تراکم‌های مختلف در تاریخ کاشت دوم با عملکرد دانه ۴۴۵/۷۵ گرم در مترمربع در تراکم ۵ بوته در مترمربع، کم‌ترین عملکرد و ۲۷۴۴ گرم در مترمربع در تراکم ۳۵ بوته در مترمربع، بیش‌ترین عملکرد را که با بقیه تراکم‌ها تفاوت معنادار داشتند (جدول ۷). در تاریخ کاشت سوم بیش‌ترین عملکرد دانه مربوط به تراکم ۳۵

همچنین، علت افزایش عملکرد دانه را به ترتیب روی گیاه نخود و گلرنگ در کاشت زود هنگام، افزایش شاخص سطح برگ معرفی شده است [۴ و ۲۴]. افزایش شاخص سطح برگ موجب توسعه بیشتر پوشش گیاهی، جذب بیشتر تابش خورشیدی، افزایش فعالیت فتوسنتزی و در نهایت موجب تجمع بیشتر هیدرات‌های کرین خواهد شد. تولید مواد فتوسنتزی بیشتر در یک زمان معین باعث افزایش سرعت رشد محصول می‌شود که نهایتاً باعث افزایش ماده خشک و عملکرد محصول می‌شود [۵ و ۸].

جدول ۶. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برای صفت عملکرد دانه در تاریخ کاشت‌ها در رقم برکت باقلا

منابع تغییر	Df	عملکرد دانه
بلوک	۳	۱۷/۸۹
تاریخ کاشت	۲	۵۰۷۸/۴۹**
خطای a	۶	۷/۲۰
تراکم	۳	۱۹۴۲/۴۵**
تاریخ کاشت* تراکم	۶	۱۲۱۳/۷۴**
خطای b	۲۷	۵۴/۹۶
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۶۴

** معنادار در سطح ۱ درصد

جدول ۷. مقایسه میانگین‌های آثار متقابل تاریخ کاشت و تراکم برای صفت عملکرد دانه (گرم در مترمربع)

	تاریخ کاشت			
	اول	دوم	سوم	
تراکم	۶۳۲/۰۸d	۴۴۵/۷۵d	۲۳۱/۶c	۵
	۸۹۰/۲۵c	۹۵۴/۷۵c	۸۶۱/۷b	۱۵
	۱۸۲۱/۲۵b	۱۸۱۷/۵b	۹۰۳/۷b	۲۵
	۲۶۳۷/۲۵a	۲۷۴۴a	۲۰۴۲/۲a	۳۵
میانگین	۱۴۹۵/۲۰a	۱۴۹۰/۵a	۱۰۰۹/۸b	

در هر ستون بین تراکم‌ها میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنادار ندارند.

جدول ۸. ضرایب همبستگی بین عملکرد دانه و پارامترهای مدل برتر در باقلا

عملکرد	LAI _{max}	C _m	W _{max}	t _e	t _m	
					۱	t _m
				۱	۰/۹۸**	t _e
			۱	۰/۶۱ ^{ns}	۰/۵۱ ^{ns}	W _{max}
		۱	۰/۶۷ ^{ns}	-۰/۰۱۷ ^{ns}	-۰/۰۵۴ ^{ns}	C _m
	۱	۰/۷۳**	۰/۹۴**	۰/۴۴ ^{ns}	۰/۳۴ ^{ns}	LAI _{max}
۱	۰/۹۱**	۰/۷۴*	۰/۹۱**	۰/۳۳ ^{ns}	۰/۲۳ ^{ns}	عملکرد

** و * : به ترتیب نشانگر معنادار بودن در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد هستند؛ ns: معنادار نیست.

۴. نتیجه گیری

برگ و سرعت رشد محصول قرار می‌گیرد به طوری که رابطه مثبت و معناداری بین آن‌ها با عملکرد وجود داشت.

نتایج نشان داد که مدل بتا به خوبی می‌تواند الگوی تغییرات شاخص سطح برگ برای تراکم‌های ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع را طی فصل رشد توصیف کند. با توجه به مدل بتا با افزایش تراکم مقدار LAI_{max} روند افزایشی و مقدار t_m روند کاهشی داشت، به طوری که دامنه تغییرات این دو پارامتر با افزایش تراکم به ترتیب بین ۲/۳ تا ۵/۳ و ۱۴۴/۲ تا ۱۳۱/۹ روز پس از کاشت متغیر بود. مقدار t_e با افزایش تراکم روند خاصی را نشان نداد و مقدار آن بین ۱۶۳/۵ تا ۱۵۸/۷ روز پس از کاشت متغیر بود. همچنین مدل بتا به خوبی توانست روند تجمع ماده خشک برای تراکم‌های مطالعه شده را نشان دهد. W_{max} بین ۷۲۵/۱ تا ۱۴۸۴/۳ گرم در مترمربع متغیر بود و روند افزایشی را با افزایش تراکم نشان داد. مقدار t_m به ترتیب بین ۱۳۸/۳ تا ۱۴۶/۴ روز پس از کاشت متغیر بود و روند خاصی را بین تراکم‌های مطالعه شده نشان نداد. مقدار t_e بین ۱۶۲/۶ تا ۱۷۹/۰ روز پس از کاشت متغیر بود و تقریباً حالتی افزایشی را با افزایش تراکم نشان داد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد در کشت‌های زود هنگام و نیز با افزایش تراکم بوته عملکرد دانه افزایش یافت. بررسی بیشتر نشان داد عملکرد دانه تحت تأثیر حداکثر تجمع ماده خشک، شاخص سطح

به زراعی کشاورزی

- منابع**
۱. باقری و ترابی ب (۱۳۹۴) مدلی ساده برای شبیه سازی رشد، نمو و عملکرد گیاه باقلا در استان گلستان. نشریه تولید گیاهی، ۸(۲): ۱۳۳-۱۵۲.
 ۲. بالجانی ر و شکاری ف (۱۳۹۱) تأثیر پیش تیمار با سالیسیلیک اسید بر روابط شاخص‌های رشد و عملکرد در گیاه گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) تحت شرایط تنش خشکی آخر فصل. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲۲(۱): ۸۷-۱۰۳.
 ۳. ترابی ب، دست‌فالی‌نژاد ن، رحیمی ا و سلطانی ا (۱۳۹۴) بررسی رابطه بین سطح برگ و برخی خصوصیات رویشی در گلرنگ. مجله علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، ۷(۲۳): ۱۶۵-۱۷۵.
 ۴. بهتری ب، نعمتی ذ، حسن‌پور ح و رضاپور فرد ج (۱۳۸۹) مدلینگ سبز و رشد نهال بذرهای لویسا سبز، آفتابگردان و ذرت با استفاده از برخی مدل‌های غیر خطی. مجله دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲(۲۰): ۱۳۰-۱۴۰.

۱۳. محلوجی م و افیونی د (۱۳۸۳) مطالعه تجزیه رشد و عملکرد دانه ژنوتیپ های جو. پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی. ۶۳: ۳۷-۴۲.
14. Asafu-Agyei JN, Ohemeng-Dapaah S and Osafo DM (2000) Plant growth analysis of maize (*Zea mays* L.) intercropped with cassava (*Manihot esculentus* Cranz). Ghana Journal of Agriculture Science 33: 127-138.
15. Ameh GI and Okezie CEA (2005) Growth analysis studies of some accessions of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa* Hochst. Ex. A. Rich) harms. Plant Products Research Journal 10: 20-25.
16. Blanco FF and MV Folegatti (2005) Estimation of leaf area for greenhouse cucumber by linear measurements under salinity and grafting. Agriculture Science. 62: 305-309.
17. Chimenti CA and Hall AS (2002) Grain number response to temperature during floret differentiation in sunflower. Field Crops Research 72: 177-184.
18. Fathi G, Siadat SA and Hemaity SS (2003) Effect of sowing date on yield and yield components of three oilseed rape varieties. Acta Agronomica Hungarica 51: 249-255.
19. Gompertz B (1825) On the nature of the function expressive of the law of human mortality, and on a new mode of determining the value of life contingencies. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. 182: 513-585.
20. Hunt R (2003) Growth analysis, individual plants, In: Thomas B, Murphy DJ, Murray D, (Eds.), Encyclopedia of applied plant sciences. Academic Press, London. 579-588.
۵. خطیب ف، ترابی ب و رحیمی ا (۱۳۹۳) ارزیابی برخی از شاخص های رشد گلرنگ با استفاده از آنالیز رگرسیون. نشریه پژوهش های زراعی ایران، ۱۴(۴): ۶۶۵-۶۵۱.
۶. خطیب ف (۱۳۹۲) اثر تاریخ کاشت بر شاخص های رشد ارقام گلرنگ در رفسنجان. دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان. رساله کارشناسی ارشد.
۷. دست فالی نژاد ن (۱۳۹۲) کمی کردن تولید و زوال برگ گلرنگ در شرایط رفسنجان. دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان. رساله کارشناسی ارشد.
۸. رحیمی ا (۱۳۹۱) اثر تنش شوری بر برخی شاخص های رشد در سه گونه دارویی اسفزه اواتا، پسیلیوم و بارهنگ کبیر. مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۲(۴): ۲۷-۳۹.
۹. سعادت خواه ح (۱۳۹۲). کمی کردن تولید و توزیع ماده خشک در گلرنگ در رفسنجان. دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان. رساله کارشناسی ارشد.
۱۰. سلطانی ا (۱۳۹۲) کاربرد نرم افزار SAS در تجزیه های آماری. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۱۸۲.
۱۱. صادق زاده حمایتی س، فتح اله طالقانی د، ساعدنیا و، خدادادی ش، نیک پناه ح و دهقان شعار م (۱۳۸۵) تأثیر نیتروژن و فسفر بر مؤلفه های فیزیولوژیکی رشد بوته های بذری چغندر قند در منطقه اردبیل. مجله چغندر قند. ۲۲(۱): ۷۵-۹۰.
۱۲. غدیریان ر، سلطانی ا، زینلی ا، کلاته عربی م و بخشنده ا (۱۳۹۰) ارزیابی مدل های رگرسیونی غیرخطی برای استفاده در آنالیز رشد گندم. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۴(۳): ۷۷-۵۵.

21. Heinnen M (1999) Analytical growth equation and their Genstat 5 equivalents. Netherlands Journal of Agricultural Science. 47: 67-89.
22. Khamis A, Ismail Z, Haron, K and Mohammed AT (2005) Nonlinear growth models for modeling oil palm yield growth. Journal of Mathematics and Statistics. 1(3): 225-233.
23. Lizaso JI, Batchelor WD and Westgate ME (2003) A leaf area model to simulate cultivar-specific expansion and senescence of maize leaves. Field Crops Research. 80: 1-17.
24. Lopez FJ, Lopez RJ, Khalil SK and Lopez L (2008) Effect of planting date on winter Kabuli chickpea growth and yield under rain fed Mediterranean conditions. Agronomy Journal. 1000: 957-964.
25. Muller J, Behrens T and Diepenbrock W (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 Research. 96: 279-295.
26. Paramar NG and Chanda SV (2002) Growth analysis using curve fitting method in early and late sown sunflower. Plant Breeding and Seed Science. 46: 61-69.
27. Poorter H and Garnier E (1996) Plant growth analysis: and evaluation of experimental design and computational methods. Journal of Experimental Botany. 47: 1343-1351.
28. Poorter H (1989) Plant growth analysis: towards a synthesis of the classical and the functional approach. Physiologia Plantarum 75: 237-244.
29. Royo C, Aparicio N, Blanco R and Villegas D (2004) Leaf and green area development of durum wheat genotypes grown under Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy. 20: 419-430.
30. Timmermans BGH, Vos J, Van Nieuwburg J, Stomph TJ and Van Der Putten PEL (2007) Germination rates of *Solanumsisymbriifolium*: temperature response models, effects of temperature fluctuations and soil water potential. Seed Science Research. 17: 221-231.
31. Torabi B, Saadatkhah H and Soltani A (2014) Evaluating mechanistic models in growth analysis of safflower. TI Journals Agriculture Science development. 4(3): 133-139.
32. Turpin JE, Robertson MJ, Hillcoat NS and Herridge DF (2002) Faba bean (*Vicia faba* L.) in Australia's northern grains belt: canopy development, biomass, and nitrogen accumulation and partitioning. Australian Journal of Agriculture Research. 53(2): 227-237.
33. Watson DJ (1952) The physiological basis of variation in yield. Advances in Agronomy. 4: 101-145.
34. Yin X, Goudriaan J, Lantinga EA, Vos J and Spiertz JH (2003) A flexible sigmoid function of determinate growth. Annals of Botany. 91: 361-371.



Crops Improvement

(Journal of Agricultural Crops Production)

Vol. 20 ■ No. 1 ■ Spring 2018

Prediction of dry matter production and leaf area index in faba bean (*Vicia faba* L.) under different planting dates and densities

Najibollah Ebrahimi¹, Benjamin Torabi^{2}, Afshin Soltani³, Ebrahim Zeinali⁴*

1. M.Sc. Student, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
3. Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
4. Associate Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran

Received: July 11, 2017

Accepted: October 3, 2017

Abstract

To analyze the growth, it is necessary to access to accurate and well-arranged data obtained from measuring leaf area and dry matter accumulation. The purpose of this study was to evaluate different nonlinear regression models to study the trend of changes in leaf area index and dry matter production and to estimate the parameters related to the growth analysis. The experiment was conducted on faba bean "cv. Barkat" in a split-plot experiment based on randomized complete block design with three planting dates and four densities in four replications. In this study, the beta and logistic models were fitted to the leaf surface data and the beta, Gompertz and logistic models to dry matter production. AICc benchmark showed that the beta model was fitted to the leaf surface data the better than the logistic model. LAI_{max} in different densities varied between 2.3 to 5.3, t_m between 131.9 and 144.2, and t_c between 158.7 and 163.5 days after planting. AICc benchmark showed that the beta model was fitted to the dry matter accumulation data the better than the Gompertz and logistic models. W_{max} in different densities varied between 725.1 and 1484.3 g/m², t_m between 138.3 and 146.4 and t_c between 162.60 and 179.0 days after planting. Grain yield varied from 231 to 2744 g/m², and with increasing density in each planting date, grain yield showed the increased trend. The results showed that yield changes were directly affected by maximum leaf area index, maximum dry matter accumulation and crop growth rate.

Keywords: AICc, crop growth rate, density, evaluation, model.