به زراعی کشاورزی
دوره ۲۰ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۳۹۷
صفحه‌های ۲۹۸-۲۸۳

پیش‌بینی تولید مادهٔ 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 وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۱۱

چکیده

برای آنالیز رشد گیاه در طول فصل رشد به داده‌های سطح برگ و تجمع مادهٔ خشک نیاز است. استفاده از مدل‌های رگرسیون غیرخطی مثل بتا، لجستیک، گمپرتز، ریچاردز، نمایی‌خطی‌بریده و نمایی‌خطی‌متقارن به‌دلیل داشتن پارامترهایی با مفهوم فیزیولوژیک در آنالیز رشد درحال 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 پایهٔ بلوک‌های کامل تصادفی، با سه تاریخ‌کاشت و چهار تراکم در چهار تکرار در مزرعهٔ 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 تراکم های مختلف LAImax 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 داده های تولید ماده خشک نشان داد که مدل بتا نسبت به مدل های گمپرتز و لجستیک در ارزیابی روند تولید مادهٔ خشک بهتر بود. طبق این مدل Wmax در تراکم های 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 مادهٔ خشک و سرعت رشد محصول قرار گرفت..

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

* نویسنده مسئول
Email: ben_Torabi@yahoo.com

www.SID.ir

۱. مقدمه

باقلا (*Vicia faba* L.) متعلق به خانوادهٔ Fabaceae و یکی از حبوبات عمده در منطقهٔ خاورمیانه است که به‌دلیل 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 کمّی رشد، نمو و تولید گیاهان زراعی آنالیز رشد روش با ارزشی به شمار می‌رود [۱۳ و ۲۰] که می تواند برای توجیه و تفسیر واکنش گیاهان نسبت به شرایط مختلف در طول دورهٔ رشد استفاده شود [۱۰]. تجزیه وتحلیل مراحل رشد گیاه روش کمّی مفید برای توصیف عملکرد سیستم گیاهی و درک مشکلات فیزیولوژیکی رشد است. برای تجزیه وتحلیل رشد گیاه در طول فصل رشد دسترسی به اطلاعات دقیق و منظم گیاه نیاز است که این داده ها با اندازه گیری سطح برگ و تجمع مادهٔ خشک به دست خواهد آمد. شاخص سطح برگ و مادهٔ خشک دو جزء اصلی آنالیز رشد به‌شمار می روند که از طریق آن ها پارامترهای آنالیز رشد مانند سرعت رشد محصول[1] (CGR)، سرعت رشد نسبی[2] (RGR)، سرعت جذب خالص[3] (NAR) و دوام سطح برگ[4] (LAD) قابل محاسبه است [۳۴ و ۲۶].

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 می دهد و بررسی روند تغییرات آن در طی زمان یکی از اجزای اساسی مدل های رشد محصولات است [۲۳]. تجمع مادهٔ خشک در قسمت‌های هوایی گیاه یکی از متغیرهای دیگری است که از طریق آن می توان پارامترهای آنالیز رشد را تعیین کرد. بنابراین، بررسی عوامل مؤثر بر تولید مادهٔ خشک و ارتباط بین آن ها کاملاً ضروری است. از طرفی ارتباط قوی بین افزایش شاخص سطح برگ با مقدار تشعشع خورشیدی جذب شده و در نهایت تولید مادهٔ خشک وجود دارد [۲ و ۷]. توسعهٔ کُند سطح برگ موجب توسعهٔ ضعیف پوشش گیاهی و جذب کمتر تابش خواهد شد که نهایتاً باعث کاهش سرعت رشد محصول و به‌دنبال آن کاهش عملکرد می‌شود [۴].

دو روش برای کمّی 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 می شوند. معادلاتی که برای محاسبهٔ این پارامترها در فاصلهٔ دو نمونه‌گیری استفاده می‌شود از طریق معادلات چندجمله‌ای و انتگرال گیری فرمول ها و سپس تقسیم بر زمان بین دو نمونه‌گیری به دست می‌آید [۱۱، ۱۴، ۲۰ و ۲۷].

در روش رگرسیونی، از مدل های رگرسیونی (خطی و غیرخطی) برای تعیین پارامترهای رشد استفاده می شود. در این روش معادلات رگرسیون بر داده های مادهٔ خشک برازش داده می شوند که ضرایب این معادلات دارای مفهوم فیزیولوژیک و نشان دهندهٔ پارامترهای رشد هستند [۲۰، ۳۲، ۲۹ و ۲۸]. اما یک عیب که در پارامترهای مدل های رگرسیونی خطی (مثل معادله درجه دوم) وجود دارد این است که از لحاظ فیزیولوژیک معنا و مفهوم خاصی ندارند و معمولاً از این مدل ها برای بررسی روند مادهٔ خشک و سطح برگ در طی زمان استفاده می‌کردند. [۱۳، ۱۴، ۲۰، ۲۷ و ۳۴].

از مدل‌های رگرسیونی غیرخطی شامل مدل‌های لجستیک[5]، گومپرتز[6]، ریچاردز[7]، نمایی خطی[8]، نمایی خطی

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

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

Archive of SID
www.SID.ir

بریده[1]، نمایی خطی متقارن[2] و بتا[3] برای آنالیز رشد استفاده شده‌اند [۱۱، ۱۲، ۱۶، ۲۰، ۲۱، ۲۲، ۲۵، ۳۰، ۳۱ و ۳۲]. این مدل ها بر تیمارهای مختلف برازش داده می شوند 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 مادهٔ خشک استفاده شده است [۵، ۶ و ۸]. همچنین از مدل های رگرسیونی غیرخطی برای تخمین سطح برگ و تجمع مادهٔ خشک در گلرنگ استفاده شده است [۳]. این مطالعه به منظور ارزیابی مدل های رگرسیونی غیرخطی مختلف برای بررسی روند تغییرات شاخص سطح برگ و تولید مادهٔ خشک و برآورد پارامترهای مربوط به آنالیز رشد انجام شد تا بتوان با مشخص کردن مناسب ترین مدل برآورد درستی از سطح برگ و تولید مادهٔ خشک گیاه باقلا داشت.

۲. مواد و روش‌ها

این آزمایش در مزرعهٔ تحقیقاتی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقهٔ شرقی و ارتفاع ۱۲۰ متری از سطح دریا با متوسط بارندگی ۶۰۷ میلی‌متر، میانگین دمای ۱۳ درجهٔ سانتی‌گراد و نوسان دمایی ۱۰ درجهٔ سانتی‌گراد در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ اجرا شد. زمین استفاده شده برای اجرای آزمایش، دارای خاکی با بافت لوم رسی سیلتی است. این آزمایش بر گیاه باقلا رقم «برکت» به صورت آزمایش اسپلیت پلات در قالب طرح پایهٔ بلوک های کامل تصادفی در چهار تکرار انجام شد. فاکتورهای آزمایش شامل تاریخ کاشت (۶آذر، ۴دی و ۱۱بهمن) و تراکم (۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع) بودند. بذرها به صورت دستی و با فاصلهٔ ردیف ثابت ۵۰ و عمق ۵ سانتی مترکشت 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.

نمونه گیری از تمام کرت ها از مرحلهٔ ۶ تا ۸ برگی تا پایان مرحلهٔ رشد در فاصلهٔ زمانی هر ۷ تا ۱۰ روز انجام شد. در هر نمونه‌برداری سطح برگ بوته براساس ۵ بوته با دستگاه سطح برگ سنج دلتاتی[4] اندازه گیری شد. وزن خشک بوته ها به تفکیک برگ و سایر اندام ها در دمای ۷۵ درجهٔ سانتی گراد تا رسیدن به وزن ثابت با ترازوی با دقت ۰/۰۱ گرم اندازه‌گیری شد.

برای توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ در طول دورهٔ 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 مقدار شاخص سطح برگ، 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]:

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

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

1. Truncated Expolinear
2. SymetricalExpolinear
3. Beta
4. Delta T Device

Archive of SID
www.SID.ir

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

۱. مدل بتا [۱۱، ۳۲ و ۳۴]:

$$W = W_{max} \left(1 + \frac{t_m - t}{t_m - t_e}\right) \left(\frac{t}{t_e}\right)^{\frac{t_m}{t_m - t_e}}$$

که در آن W_{max}، حداکثر مقدار مادهٔ خشک؛ t_m زمانی که سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار خود می رسد و t_e، زمان پایان دورهٔ رشد است که در آن مقدار مادهٔ خشک برابر با W_{max} است. مقدار سرعت رشد محصول در این مدل با استفاده از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$? = \frac{6 - ?}{-:-?} \left(\frac{-}{;}\right)^{\frac{-}{-7}} \quad S \quad .$$

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 می رسد و w_{max} حداکثر مقدار تجمع مادهٔ خشک است.

۲. مدل لجستیک [۱۱، ۳۲ و ۳۴]:

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

که درآن W_{max}، حداکثر مقدار تجمع ماده خشک؛ k، ضریب نشان‌دهندهٔ تندی افزایش مادهٔ خشک و t_m، زمانی است که سرعت رشد محصول به حداکثر مقدار خود می رسد (در آن زمان مقدار مادهٔ خشک به نصف مقدار حداکثر خود رسیده است). در زمان t_m، RGR برابر است با k/۲. معادلهٔ لجستیک در زمان t_m به‌صورت متقارن است.

۳. مدل گمپرتز [۱۱، ۱۹، ۳۲ و ۳۴]:

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

در این مدل نیز W_{max} حداکثر مقدار تجمع مادهٔ خشک، k، ضریب نشان‌دهندهٔ تندی افزایش مادهٔ 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.

برازش مدل‌ها بر داده‌های سطح برگ و تولید مادهٔ خشک و نیز تخمین پارامترهای هر مدل با روش مطلوب‌سازی تکراری[1] با کمک رویه PROC NLIN نرم‌افزار SAS ۹/۴ صورت گرفت [۹]. در روش مطلوب سازی تکراری مقادیر اولیه پارامترها هر بار وارد شده، که مقادیر نهایی آن با روش کمترین توان های دوم تخمین زده می‌شود. تغییر مقادیر تا وقتی صورت گرفت که بهترین برآورد از پارامتر به‌دست آید. بهترین برآورد پارامترهای مدل براساس خطای معیار[2] (SE) کمتر پارامترهای مدل به دست آمد. برای مقایسهٔ مدل های مختلف توصیف کنندهٔ شاخص سطح برگ و مادهٔخشک در طی فصل رشد از معیار زیر استفاده شد:

(۱)ضرایب رگرسیون سادهٔ خطی (a و b) بین مقادیر پیش‌بینی‌شده و مقادیر واقعی: ضرایب a و b به‌ترتیب نشان دهندهٔ مقدار انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و مقدار شیب خط رگرسیون از خط ۱:۱ هستند. اگر نقاط پیش بینی‌شده روی خط ۱:۱ قرار گیرند، نشان‌دهندهٔ 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:

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

که در آن Oi، مقدار واقعی و Pi، مقدار پیش‌بینی شده از سطح برگ یا مادهٔ خشک تولیدی است. n تعداد مشاهدات است.

(۳) ضریب تغییرات (CV) بین مقادیر واقعی و پیش بینی شدهٔ سطح برگ یا مادهٔ خشک. مقدار پایین تر CV نشان‌دهندهٔ برتری مدل است.

1. Iterative Optimization
2. Standard Error

Archive of SID
www.SID.ir

(۴) ضریب همبستگی (r) بین مقادیر واقعی و پیش‌بینی شدهٔ سطح برگ یا مادهٔ خشک. مقدار بالاتر r نشان‌دهندهٔ برتری مدل است.

(۵) معیار اطلاعاتی آکائیک (AICc)[1]: مدلی که مقدار AICc کمتری دارد به احتمال زیاد درست‌تر است.

$$AICc = N.LN(SSE/N) + 2k + \frac{2k(k+1)}{N-k-1}$$

که در آن N، تعداد مشاهدات؛ k، تعداد پارامتر مدل به علاوه یک و SSE، مجموع مربعات خطای مدل است. برای محاسبهٔ احتمال درست تر بودن مدل با AICc کمتر نسبت به هر کدام از مدل‌های دیگر (Prob) از رابطهٔ 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.

برازش مدل های مختلف بر داده‌های سطح برگ و تجمع مادهٔ خشک، تجزیهٔ واریانس داده های عملکرد و مقایسهٔ میانگین آن ها با روش LSD با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. مقایسهٔ پارامترهای مدل بین تراکم های مختلف با استفاده از حدود اطمینان ۹۵ درصد انجام شد. نتایج مربوط به برازش مدل های مختلف برای تاریخ کاشت دوم و سوم در این مطالعه نشان داده نشده است.

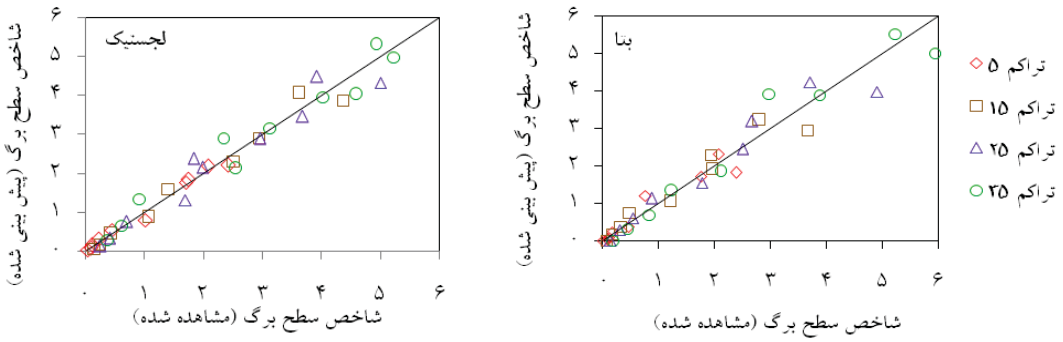
۳. نتایج و بحث

شکل ۱ شاخص سطح برگ مشاهده‌شده در مقابل پیش‌بینی‌شده در اطراف خط ۱:۱ را با دو مدل بتا و لجستیک نشان می دهد. 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 داده های شاخص سطح برگ مشاهده شده و پیش بینی شده به ترتیب با صفر و یک نشان دهندهٔ کارایی مناسب این 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). مقایسهٔ بیشتر این دو مدل با معیار اطلاعاتی آکائیک (AICc) نیز نشان داد که در همهٔ تراکم ها 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 تراکم های 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 می کند، در حالی که در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع با احتمال ۵۵ درصد مدل لجستیک درست تر بود (جدول۲). اما به دلیل تفاوت اندک مدل بتا و لجستیک در تراکم ۱۵ بوته در مترمربع و نیز به‌دلیل 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. به‌طوری‌که 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 تراکم های مورد مطالعه به‌دلیل عدم برازش مدل برداده‌ها به‌طور ثابت ۵۰ روز در نظر گرفته شد (جدول۳).

1. Akaike Information Criterion

Archive of SID
www.SID.ir



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

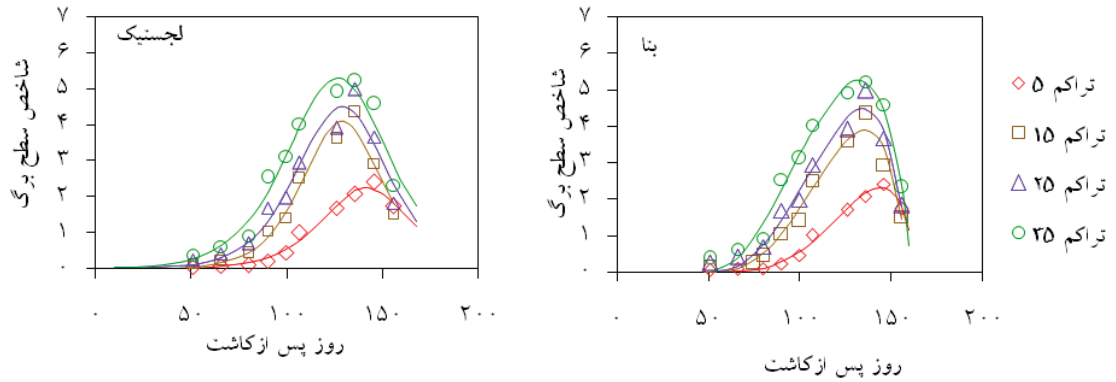
جدول ۱. ضریب رگرسیون خطی ساده (a و b)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب تغییرات (CV)، ضریب همبستگی (r) و معیار اطلاعاتی آکائیک (AICc) بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده شاخص سطح برگ برای مدل‌های بتا و لجستیک در گیاه باقلا رقم برکت.

مدل	تراکم	a±SE	b±SE	RMSE	CV	R	AICc
بتا	۵	−۰/۰۱±۰/۰۴۷	۰/۰۳۵±۱/۰۰	۰/۱	۱۰/۱	۰/۹۹	−۲۴/۴
	۱۵	۰/۱۵۰±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			
		۵	۱۵	۲۵	۳۵
شاخص سطح برگ	بتا/ لجستیک	۰/۹۴	۰/۵۵	۰/۹۶	۰/۹۶
تجمع مادهٔ خشک	بتا/ گمپرتز	۰/۹۹	۰/۶۲	۰/۹۴	۰/۹۸
تجمع مادهٔ خشک	بتا/ لجستیک	۰/۹۴	۰/۹۳	۰/۸۵	۰/۵۰

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۲. توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ گیاه باقلا رقم برکت با مدل‌های بتا و لجستیک. علائم لوزی، مربع، مثلث و دایره به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ تراکم ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع هستند.

جدول۳. مقادیر پارامترهای مدل‌های بتا و لجستیک در توصیف روند تغییرات شاخص سطح برگ در گیاه باقلا رقم برکت.

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

زمان وقوع حداکثر شاخص سطح برگ (t_m) از تراکم ۵ به ۳۵ بوته در مترمربع روند کاهشی داشت به‌طوری‌که 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 تراکم های مختلف بین ۱۵۸/۷ تا ۱۶۳/۵ روز متغیر بود و بین تراکم ها از این لحاظ اختلاف معناداری مشاهده نشد (جدول۳). افزایش تراکم موجب کاهش عبور نور به بخش پایین کانوپی می شود و رقابت بیشتر بوته‌ها برای دریافت نور باعث می‌شود که برگ‌ها سریع‌تر به پیری رسیده و ریزش نمایند [۵ و ۶].

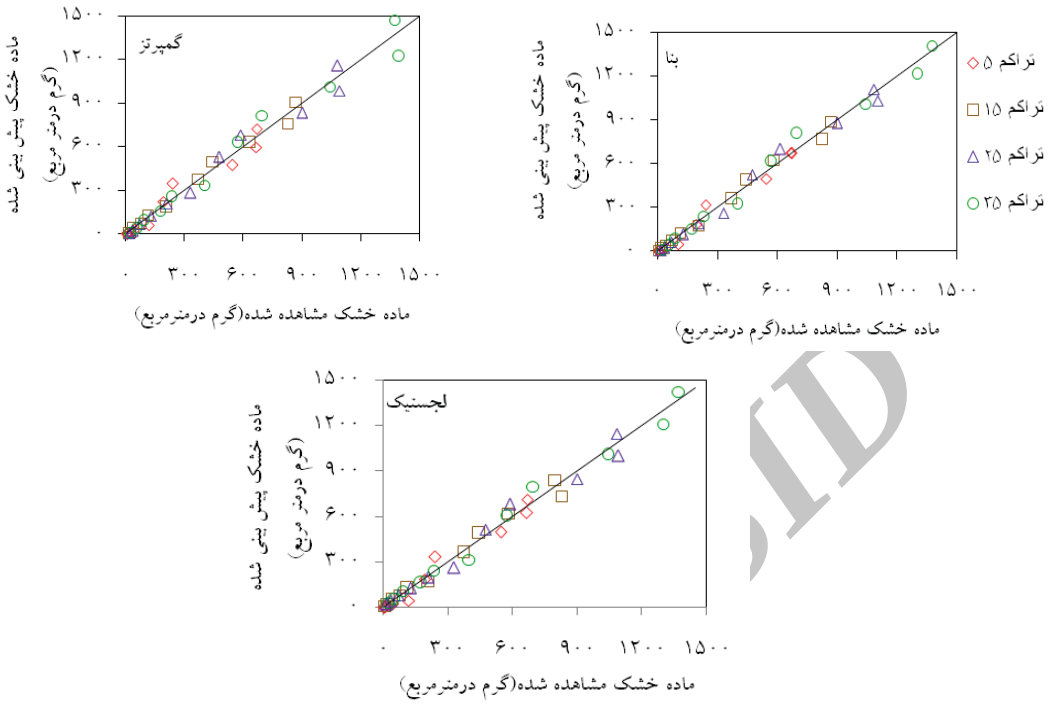
شکل ۳، تولید مادهٔ خشک پیش بینی شده در مقابل مشاهده شده در اطراف خط ۱:۱ را با سه مدل بتا، لجستیک و گمپرتز نشان می دهد. آن‌چنان‌که در شکل نشان داده می شود، داده ها به خوبی در اطراف خط ۱:۱ قرار

Archive of SID
www.SID.ir

گرفته‌اند. معنادار نبودن ضرایب a و b رگرسیون خطی بین داده‌های تولید مادهٔ خشک، پیش‌بینی و مشاهده شده به ترتیب با صفر و یک، نشان دهندهٔ کارایی مناسب این دو مدل برای توصیف روند تغییرات تولید مادهٔ خشک در طی زمان است (جدول ۴). نتایج نشان داد مقدار r در هرسه مدل تقریباً مشابه بود (r ≥ ۰/۹۷). مدل بتا نسبت به مدل گمپرتز و لجستیک دارای RMSE و CV کمتر بود که این دلالت بر دقت نسبتاً بهتر مدل بتا دارد (جدول۴). نتایج مقایسهٔ 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 دهندهٔ درست‌تر بودن مدل بتا نسبت به دو مدل دیگر در توصیف روند تغییرات مادهٔ خشک در طی زمان است (جدول ۴). بررسی بیشتر نشان داد مدل بتا در تراکم های 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 مادهٔ 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 هیچ یک از این دو مدل بر دیگری ارجحیت نداشت. به هر حال، با استفاده از معیارهای فوق مدل بتا برای توصیف روند تغییرات مادهٔ خشک در طی زمان، نسبت به دو مدل دیگر، مدل برتر شناخته شد (جدول۲).

توصیف روند تغییرات تجمع مادهٔ خشک گیاه باقلا با استفاده از سه مدل بتا، لجستیک و گمپرتز در شکل ۴ نشان داده شده است. روند تغییرات تجمع مادهٔ خشک در تمامی تراکم‌های مختلف مشابه بود (شکل۴). 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 برگ ها بوده است. پس از مرحلهٔ روزت، گیاه وارد مرحلهٔ 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 مادهٔ خشک در برگ ها و ورود گیاه به مرحلهٔ ساقه روی و افزایش سریع وزن خشک ساقه‌ها است. مرحلهٔ سوم رشد، پس از رشد خطی آغاز می شود. در این مرحله، به دلیل پیری و کاهش سطح برگ، روند تجمع مادهٔ خشک کند می شود. نتایج نشان داد بین تراکم ها از نظر حداکثر تجمع مادهٔ خشک اختلاف معنادار وجود دارد (جدول۵). به‌طوری‌که تراکم ۳۵ بوته در مترمربع، بیشترین (۱۴۸۴/۳ گرم بر مترمربع) و تراکم ۵ بوته در مترمربع، کم ترین تجمع مادهٔ خشک (۷۲۵/۱ گرم بر مترمربع) را دارا بودند. افزایش مادهٔ خشک در تراکم ۳۵ بوته در مترمربع را می توان به‌دلیل دریافت بیشتر تشعشع خورشیدی و رشد و توسعهٔ بیشتر برگ‌ها و در نهایت افزایش سرعت رشد و تجمع مواد فتوسنتزی بیشتر دانست [۱۷]. همان طور 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 درنتیجه کاهش مادهٔ خشک تجمع یافته در این تراکم شد [۴]. از لحاظ زمان رسیدن به نصف حداکثر مادهٔ خشک (t_m) در بین تراکم‌های مختلف، روند خاصی مشاهده نشد و بین ۱۳۸/۳ تا ۱۴۶/۴ روز متغیر بود (جدول ۵). نتایج نشان داد در بین تیمارهای مختلف تراکم کاشت زمان پایان دورهٔ رشد (t_e) در بازهٔ زمانی ۱۶۲/۶ تا ۱۷۹ روز پس از کاشت محدود شد که اختلاف معناداری بین تراکم های مختلف کاشت از نظر زمان پایان دورهٔ رشد وجود نداشت (جدول ۵). سرعت رشد محصول (C_m) در تراکم های مختلف بین ۱۴/۲۲ تا ۲۰/۸۴ گرم بر مترمربع در روز متغیر بود که این تنوع C_m به‌دلیل وجود تفاوت در پارامترهایی مانند t_m و t_e در این تراکم‌ها بود (جدول۵).

Archive of SID
www.SID.ir

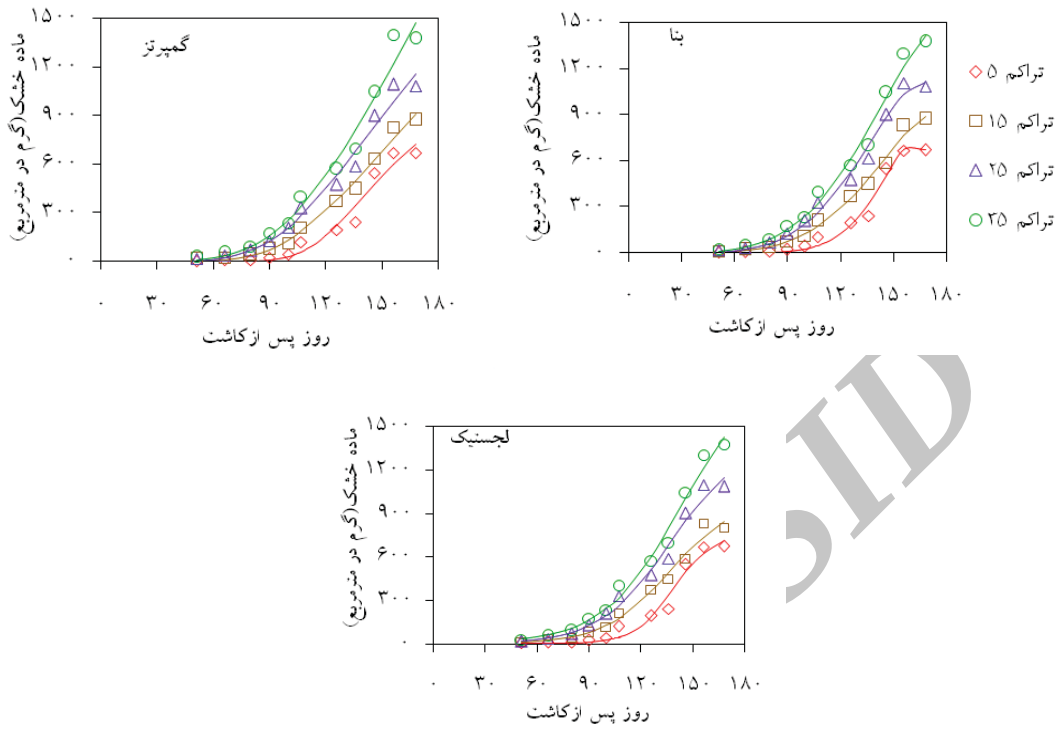


شکل ۳. تولید مادهٔ خشک پیش‌بینی‌شده در مقابل مشاهده شده در گیاه باقلا رقم برکت در چهار تراکم مختلف برای مدل‌های بتا، گمپرتز و لجستیک. علائم لوزی، مربع، مثلث و دایره به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ تراکم ۵، ۱۵، ۲۵ و ۳۵ بوته در مترمربع هستند.

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 شدهٔ مادهٔ خشک تولیدی برای مدل‌های بتا، گمپرتز و لجستیک در گیاه باقلا رقم برکت.

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

Archive of SID
www.SID.ir



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

جدول۵. مقادیر پارامترهای مدل‌های بتا، گمپرتز و لجستیک در توصیف روند تغییرات تولید مادهٔ خشک در گیاه باقلا رقم برکت.

مدل	پارامتر	تراکم			
		۵	۱۵	۲۵	۳۵
بتا	W_{max}	۷۲۵/۱ (۳۳/۹۹۲)	۹۲۱/۰ (۸۱/۰۶۳)	۱۱۱۲/۰ (۴۶/۸۴۲)	۱۴۸۴/۳ (۱۷۹/۱)
	t_m	۱۴۶/۴ (۱/۳۷۹)	۱۴۵/۲ (۴/۳۷۰)	۱۳۸/۳ (۲/۳۵۰)	۱۴۴/۳ (۶/۲۵۹)
	t_e	۱۶۲/۶ (۱/۳۶۱)	۱۷۵/۹ (۸/۲۴۳)	۱۶۷/۲ (۴/۵۴۷)	۱۷۹/۰ (۱۱/۸۴۵)
	C_m	۱۹/۰۶	۱۴/۲۲	۱۸/۲۰	۲۰/۸۴
گمپرتز	W_{max}	۱۰۹۸/۶ (۴۴۳/۵)	۱۷۶۲/۵ (۴۹۵/۹)	۲۱۱۱/۴ (۷۹۱/۳)	۳۵۰۰/۶ (۲۰۴۸/۰)
	t_m	۱۴۰/۶ (۱۴/۵۴۴)	۱۴۷/۶ (۱۴/۷۸۶)	۱۴۲/۴ (۲۰/۴۷۷)	۱۵۹/۲ (۳۵/۵۶۳)
	K	۰/۰۳ (۰/۰۱۵)	۰/۰۲ (۰/۰۰۵)	۰/۰۲ (۰/۰۰۶)	۰/۰۲ (۰/۰۰۷)
لجستیک	W_{max}	۷۷۰/۲ (۹۱/۷۳۰)	۱۰۱۰/۹ (۱۲۴/۷)	۱۳۸۶/۰ (۱۹۱/۴)	۱۹۰۶/۰ (۲۸۵/۰)
	t_m	۱۳۹/۲ (۴/۰۷۰)	۱۳۷/۰ (۷/۱۰۱)	۱۳۷/۲ (۶/۰۸۰)	۱۴۳/۵ (۷/۹۰۳)
	K	۰/۰۹ (۰/۰۲۱)	۰/۰۵ (۰/۰۰۸)	۰/۰۵ (۰/۰۰۸)	۰/۰۴ (۰/۰۰۶)

*(SE) خطای معیار

Archive of SID
www.SID.ir

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 بتا۱ نسبت به سایر مدل‌ها دقت پیش‌بینی مناسب‌تری داشت. همچنین در مطالعهٔ دیگر، مدل لجستیک با ۷ مدل دیگر (بتا۱، بتا۲، ویبول، ریچاردز، نمایی متقارن، نمایی بریده و گومپرتز) مقایسه شده است که نتایج حاصل از آن نشان می دهد که مدل لجستیک نسبت به سایر مدل ها برازش مناسب تری داشت [۱۱]. همچنین نتایج حاصل از مقایسهٔ 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 تجزیهٔ واریانس نشان داد که اثر متقابل تاریخ کاشت و تراکم، برای صفت عملکرد دانه در سطح احتمال ۱درصد معنادار بود (جدول ۶). در تاریخ کاشت نخست بیش ترین 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، کم ترین عملکرد و ۲۷۴۴ گرم در مترمربع در تراکم ۳۵ بوته در مترمربع، بیش ترین عملکرد را که با بقیه تراکم‌ها تفاوت معنادار داشتند (جدول ۷). در تاریخ کاشت سوم بیش ترین عملکرد دانه مربوط به تراکم ۳۵ بوته در مترمربع باعملکرد ۲۰۴۲/۲ گرم در مترمربع و کم ترین عملکرد را تراکم ۵ بوته در مترمربع با عملکرد ۲۳۱/۶ گرم در مترمربع داشتند. اما، در این تاریخ کاشت تراکم های ۱۵ و ۲۵ بوته در مترمربع اختلاف معنا داری با یکدیگر نشان ندادند (جدول ۷). به طور کلی بین تاریخ کاشت‌های مختلف از نظر عملکرد دانه در سطح احتمال ۱درصد اختلاف معناداری وجود داشت (جدول۷). مقایسه های میانگین مربوط به تاریخ های 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 کم ترین 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، نظیرتشعشع خورشیدی و درجهٔ حرارت مطلوب در زمان گل دهی و پرشدن دانه موجب افزایش بازده فتوسنتزی و در نتیجه افزایش عملکرد دانه در این تاریخ های کاشت شده است. در تاریخ کاشت سوم عواملی مانند دوام سطح برگ پایین، جذب کمتر تشعشع در طی مرحلهٔ رشد رویشی، کوتاه شدن دورهٔ رشد زایشی و برخورد مرحلهٔ گل دهی و مراحل پس از آن با دمای بالا سبب اختلال در انتقال مواد ذخیره‌ای به دانه‌ها شده و در نهایت کاهش عملکرد را به‌دنبال داشته است [۴ و ۱۸].

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

Archive of SID
www.SID.ir

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 توسعهٔ بیشتر پوشش گیاهی، جذب بیشتر تابش خورشیدی، افزایش فعالیت فتوسنتزی و در نهایت موجب تجمع بیشتر هیدرات‌های کربن خواهد شد. تولید مواد فتوسنتزی بیشتر در یک زمان معین باعث افزایش سرعت رشد محصول می‌شود که نهایتاً باعث افزایش مادهٔ خشک و عملکرد محصول می‌شود [۵ و ۸].

جدول ۶. تجزیهٔ 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 تغیرات (درصد)		۱۰/۶۴

** معنادار در سطح ۱درصد

جدول۷. مقایسهٔ میانگین‌های آثار متقابل تاریخ کاشت و تراکم برای صفت عملکرد دانه (گرم در مترمربع)

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

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

Archive of SID
www.SID.ir

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

	t_m	t_e	W_{max}	C_m	LAI_{max}	عملکرد
t_m	۱					
t_e	۰/۹۸**	۱				
W_{max}	۰/۵۱^{ns}	۰/۶۱^{ns}	۱			
C_m	−۰/۰۵۴^{ns}	−۰/۰۱۷^{ns}	۰/۶۷^{ns}	۱		
LAI_{max}	۰/۳۴^{ns}	۰/۴۴^{ns}	۰/۹۴**	۰/۷۳**	۱	
عملکرد	۰/۲۲^{ns}	۰/۳۳^{ns}	۰/۹۱**	۰/۷۴*	۰/۹۱**	۱

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

۴. نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که مدل بتا به‌خوبی می‌تواند الگوی تغییرات شاخص سطح برگ برای تراکم های ۵، ۱۵، ۲۵و 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، به‌طوری‌که دامنهٔ 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 به‌خوبی توانست روند تجمع مادهٔ 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 به‌ترتیب بین ۱۳۸/۳ تا ۱۴۶/۴ روز پس از کاشت متغیر بود و روند خاصی را بین تراکم های 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 کشت های زودهنگام و نیز با افزایش تراکم بوته عملکرد دانه افزایش یافت. بررسی بیشتر نشان داد عملکرد دانه تحت تأثیر حداکثر تجمع مادهٔ خشک، شاخص سطح برگ و سرعت رشد محصول قرار می‌گیرد به‌طوری‌که رابطهٔ مثبت و معناداری بین آن‌ها با عملکرد وجود داشت.

منابع

۱. باقری و ترابی ب (۱۳۹۴) مدلی ساده برای شبیه سازی رشد، نمو و عملکرد گیاه باقلا در استان گلستان. نشریهٔ 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. مجلهٔ 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. مجلهٔ علمی پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهی، ۷(۲۳): ۱۶۵-۱۷۵.

۴. بهتری ب، نعمتی ذ، حسن‌پور ح و رضاپورفرد ج (۱۳۸۹) مدلینگ سبز و رشد نهال بذرهای لوبیا سبز، آفتابگردان و ذرت با استفاده از برخی مدل های غیر خطی. مجلهٔ دانش کشاورزی و تولید پایدار. ۲(۲۰): ۱۳۰-۱۴۰.

Archive of SID
www.SID.ir

۵. خطیب ف، ترابی ب و رحیمی ا (۱۳۹۳) ارزیابی برخی از شاخص های رشد گلرنگ با استفاده از آنالیز رگرسیون. نشریهٔ پژوهش های زراعی ایران، ۱۴(۴): ۶۶۵-۶۵۱.

۶. خطیب ف (۱۳۹۲) اثر تاریخ کاشت برشاخص های رشد ارقام گلرنگ در رفسنجان. دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان. رفسجان. رسالهٔ کارشناسی ارشد.

۷. دست فالی نژاد ن (۱۳۹۲) کمّی کردن تولید و زوال برگ گلرنگ در شرایط رفسنجان. دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان. رفسجان. رسالهٔ کارشناسی ارشد.

۸. رحیمی ا (۱۳۹۱) اثر تنش شوری بر برخی شاخص های رشد در سه گونهٔ دارویی اسفرزه اواتا، پسیلیوم و بارهنگ کبیر. مجلهٔ تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۲(۴): ۲۷-۳۹.

۹. سعادت خواه ح (۱۳۹۲). کمّی کردن تولید و توزیع ماده خشک در گلرنگ در رفسنجان. دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان. رفسنجان. رسالهٔ کارشناسی ارشد.

۱۰. سلطانی ا (۱۳۹۲) کاربرد نرم‌افزار SAS در تجزیه‌های آماری. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد، ص ۱۸۲.

۱۱. صادق زاده حمایتی س، فتح اله طالقانی د، ساعدنیا و، خدادادی ش، نیک‌پناه ح و دهقان‌شعار م (۱۳۸۵) تأثیر نیتروژن و فسفر بر مؤلفه های فیزیولوژیکی رشد بوته های بذری چغندرقند در منطقهٔ اردبیل. مجلهٔ چغندرقند. 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. مجلهٔ الکترونیک تولید گیاهان زراعی. ۴(۳): ۵۵-۷۷.

۱۳. محلوجی م و افیونی د (۱۳۸۳) مطالعهٔ تجزیهٔ رشد و عملکرد دانهٔ 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* Hoechst. 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 Hemaiaty 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.

Archive of SID

www.SID.ir

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.

Archive of SID

www.SID.ir

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 Ebrahimi[1], Benjamin Torabi[2], Afshin Soltani[3], Ebrahim Zeinali[4]*

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**

of SID

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_e 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/m^2, t_m between 138.3 and 146.4 and t_e between 162.60 and 179.0 days after planting. Grain yield varied from 231 to 2744 g/m^2, 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.

Corresponding Author: Ben_Torabi@yahoo.com

www.SID.ir