

مدل سازی مراحل فنولوژیک و پارامترهای عملکردی گیاه باقلا در شرایط شرق استان گلستان (ارزیابی مدل)

علی راحمی کاریزکی^{۱*} و سیدحسین حسینی^۲

۱- استادیار گروه تولیدات گیاهی دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران

۲- دانشجوی دکتری رشته زراعت، دانشگاه گنبد کاووس، ایران؛ hosseini2002us@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۳۰

چکیده

در حال حاضر باقلا به‌عنوان یکی از محصولات مهم در منطقه خاورمیانه، آفریقا، چین و نقاطی از اروپا و استرالیا در تغذیه انسان و دام مورد توجه قرار دارد. مدل، ابزاری است که ما را در تفسیر و درک دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم، یاری می‌کند. پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی به‌شمار می‌رود. از مدل‌ها می‌توان در بهبود مدیریت تولید گیاهان زراعی برای پیش‌بینی تاریخ‌های احتمالی برداشت یا پیش‌بینی عملکرد نهایی، یا به‌صورت فعال‌تر، برای پیش‌بینی مطمئن زمان وقوع حوادث فنولوژیکی استفاده نمود. مدل استفاده‌شده در این مطالعه، مدل ارائه‌شده توسط سلطانی و همکاران برای نخود بود. برای پارامترهای ورودی مدل، از مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مزرعه‌ای در دو سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ که در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس در شرایط مطلوب دیم و عاری از آفات، علف‌های هرز و بیماری‌های باقلا اجرا گردیده بود، استفاده شد. ۲۴ سناریوی مختلف شامل ترکیبات مختلفی از تراکم و تاریخ کاشت در دو سال زراعی برای مدل تعریف گردید. نتایج نشان داد که مدل قادر است مراحل فنولوژیک گیاه باقلا را به‌جز روز تا سبز شدن به‌خوبی پیش‌بینی کند. این پیش‌بینی در مراحل منتهی به برداشت باقلا از بالاترین دقت برخوردار بود، به‌نحوی که بالاترین ضریب تبیین با مقدار ۰/۹۱ مربوط به تعداد روز تا برداشت باقلا بود. مطالعه نشان داد که مدل فوق نمی‌تواند به‌خوبی حداکثر سطح برگ، عملکرد، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت را در شرایط آب و هوایی گنبد و تحت شرایط آزمایش‌های مزرعه‌ای پیش‌بینی نماید.

واژه‌های کلیدی: توصیف مدل، حبوبات، شبیه‌سازی، مدل

مقدمه

سبز آن ۹۰۷۴ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است. باقلا گیاه مناسبی در تناوب با غلات است، زیرا موجب شکستن چرخه بسیاری از بیماری‌های متداول غلات می‌شود و جمعیت نامتدها را کاهش می‌دهد (Jafarnodeh et al., 2017).

مدل، ابزاری است که ما را در تفسیر و درک دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم، یاری می‌کند. دانشمندان و مهندسان از انواع مدل‌ها به‌عنوان ابزاری برای درک پدیده‌های مورد مطالعه استفاده می‌کنند. مدل ریاضی، معادله یا مجموعه‌ای از معادلات است که رفتار هر سیستم را به‌طور کمی توصیف می‌کند (Boote et al., 1996; Sinclair & Seligman, 1996; Van Ittersum et al., 2003). پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی به‌شمار می‌رود (Soltani et al., 2006; Torabi, 2004).

تولید و تسهیم ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی به وسیله زمان‌بندی مراحل نمو تنظیم می‌شود (Rahemi Karizaki & Soltani, 2005; Soltani et al., 2006). درک چگونگی واکنش نمو فنولوژیک باقلا به طول

باقلا با نام علمی *Visia faba* L. متعلق به خانواده Fabaceae می‌باشد. با احتمال زیاد منشأ باقلا جنوب‌غربی آسیا گزارش شده است (Majnoon Hosseini, 2008). باقلا با دارا بودن ۲۳/۴ درصد پروتئین در دانه خشک باعث گردیده تا در حال حاضر به‌عنوان یکی از محصولات مهم در منطقه خاورمیانه، آفریقا، چین و نقاطی از اروپا و استرالیا در تغذیه انسان و دام مورد توجه قرار گیرد (et al., 2002 Turpin). سطح زیرکشت باقلا در جهان و ایران به‌ترتیب معادل ۲/۹ میلیون و ۳۰ هزار هکتار می‌باشد. مناطق عمده کشت باقلا در ایران، استان‌های گلستان، خوزستان، مازندران و گیلان می‌باشد (Majnoon Hosseini, 2008). سطح کشت باقلا در استان گلستان در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲، ۲۲۸۸ هکتار و میزان تولید آن ۲۰۷۶۱ تن (۳۵ درصد تولید باقلا در کشور) و عملکرد غلاف

*نویسنده مسئول: alirahemi@yahoo.com

Aryakia et al, (2017) در مطالعه‌ای که روی لوبیاچیتی انجام دادند، نتیجه گرفتند که می‌توانند از مدل ترابی و سلطانی برای پیش‌بینی عملکرد و مراحل فنولوژیکی این گیاه استفاده کنند و بیان داشتند که این مدل می‌تواند به خوبی این پارامترها را بیان کند.

استفاده از یک مدل شبیه‌سازی برای پیش‌بینی رشد و عملکرد، به پارامترهای ورودی آن مدل در منطقه موردنظر بستگی دارد. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان مثل سایر ابزارها دارای نقاط قوت و محدودیت‌های خاص خود هستند. بنابراین، حصول نتیجه مطلوب از به‌کارگیری مدل‌ها مستلزم شناخت مناسب از توانایی‌ها و محدودیت‌های آن‌ها می‌باشد. هدف از این تحقیق، ایجاد یک مدل ساده برای پیش‌بینی مراحل فنولوژیک، حداکثر سطح برگ، عملکرد و شاخص برداشت باقلا تحت شرایط آب‌وهوایی گنبد با استفاده از مدل نخود بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مزرعه‌ای

این آزمایش در دو سال زراعی ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه گنبد کاووس در شرایط مطلوب دیم و عاری از آفات، علف‌های هرز و بیماری‌های باقلا اجرا گردید. گنبد کاووس در ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض جغرافیایی، در ارتفاع ۴۵ متر بالاتر از سطح دریا قرار دارد. میزان بارش سالانه حدود ۵۰۰ میلی‌متر است. قبل از اجرای آزمایش از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک نمونه‌برداری انجام شد و خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱) که بر اساس نتایج حاصله بافت خاک لوم رسی سیلتی بود.

آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با چهار تکرار و در دو سال انجام شد. تراکم کاشت در چهار سطح (۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ بوته در مترمربع) و تاریخ کاشت در سه سطح (۱۳ آبان ۱۳۹۱، ۱۳ آذر ۱۳۹۱، ۱۳ دی ۱۳۹۱ و ۱۷ آذر ۱۳۹۰، ۲۴ آذر ۱۳۹۰ و ۱۷ دی ۱۳۹۰) بود. برای ایجاد تراکم‌های مختلف، فاصله بین ردیف‌ها ۵۰ سانتی‌متر و فاصله روی ردیف‌ها ۲۵ سانتی‌متر برای تراکم ۸ بوته در مترمربع، ۱۶/۷ سانتی‌متر برای تراکم ۱۲ بوته در مترمربع، ۱۲/۵ سانتی‌متر برای تراکم ۱۶ بوته در مترمربع و ۱۰ سانتی‌متر برای تراکم ۲۰ بوته در مترمربع در نظر گرفته شد. میزان کود توصیه‌شده در زمان کاشت، ۲۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم کود اوره در هکتار بود. بذور قبل از کاشت با سم کربوکسی تیرام به میزان دو در هزار، ضدعفونی شده و در ردیف‌های ایجادشده در عمق ۵ سانتی‌متری کشت شدند. چون این آزمایش در شرایط مطلوب

روز و دما، ایجاد مدلی برای پیش‌بینی زمان وقوع مراحل مختلف نمو این گیاه زراعی را میسر می‌سازد. انجام آزمایش‌ها و تحقیقات علمی بر روی محصول زراعی و یافتن شرایط مطلوب رشد آن‌ها مستلزم هزینه‌های گزاف و صرف وقت و دقت زیادی می‌باشد و این موضوع برای کشورهای در حال توسعه به علت کمبود امکانات و پژوهشگر دشوار است. امروزه با استفاده از مدل‌های زراعی و امکانات گسترده‌ای که در زمینه نرم‌افزارهای کامپیوتری به وجود آمده است، می‌توان با پیدا کردن روابط میان فرایندهای رشد و یافتن شرایط مطلوب رشد، به نتایج قابل توجهی دست یافت و آن‌ها را برای شرایط دیگر تعمیم داد و وضع جدید را پیش‌بینی نمود. مدل‌ها محدودیت‌های جغرافیایی و محیطی را کاهش داده و در مورد گیاهان زراعی برای ارقام مختلف قابل تعمیم می‌باشند (Boote et al, 1996; Sinclair & Seligman, 1996).

استفاده از مدل‌ها بسیار سریع بوده و با در نظر گرفتن گیاه زراعی به عنوان یک سیستم پویا، امکان پیش‌بینی تغییرات این سیستم نسبت به زمان را فراهم می‌آورند. علاوه بر آن، از این مدل‌ها می‌توان برای معرفی گیاهان جدید در یک منطقه نیز استفاده کرد. پیش‌بینی برای وضعیت تولید مواد غذایی در یک منطقه یا جهان و اتخاذ سیاست‌های لازم با توجه به تغییرات محیطی نیز از دیگر مزایای مدل‌سازی است (Boote et al, 1996; Sinclair & Seligman, 1996).

از مدل‌ها می‌توان در بهبود مدیریت تولید گیاهان زراعی برای پیش‌بینی تاریخ‌های احتمالی برداشت یا پیش‌بینی عملکرد نهایی، یا به صورت فعال‌تر، برای پیش‌بینی مطمئن زمان وقوع مراحل فنولوژی به نحوی که کود، تنظیم‌کننده‌های رشد، علف‌کش‌ها و کنترل بیماری‌ها در مناسب‌ترین زمان به کار گرفته شوند، استفاده نمود. بسیاری از مدل‌سازان از مدل‌های خود به عنوان وسیله‌ای برای ارزیابی خطرات موجود در تولید استفاده کرده‌اند (Sinclair & Muchow, 1999). این امر با بررسی واکنش عملکرد (مدل) به آمار درازمدت اقلیمی یک منطقه صورت می‌گیرد و در نتیجه آن بهترین تاریخ کاشت، تراکم، فاصله ردیف، رقم زراعی و غیره تعیین می‌شود. از مدل‌ها می‌توان در بررسی کمی اثر ویژگی‌های زراعی بر روی رشد و عملکرد گیاهان در محیط‌های خاص استفاده کرد. در مورد مسائل به‌نژادی گیاهان زراعی همچون دورگ‌گیری، دیررسی و زودرسی، بهبود دانه‌بستن، مورفولوژی گل‌ها، افزایش رشد تک‌دانه‌ها و زمان گلدهی می‌توان از مدل‌ها استفاده کرد. تعیین پتانسیل عملکرد منطقه‌ای، کمک به مدیریت آبیاری و ارزیابی اثرات تغییر اقلیم از کاربردهای دیگر مدل‌ها می‌باشند (Sinclair & Seligman, 1996; Torabi, 2004; Sinclair & Muchow, 1999).

پس از سبزشدن بذور در مرحله ۴ تا عبورگی تنک کردن انجام شد. صفات اندازه گیری شده در این تحقیق شامل تمامی مراحل مهم فنولوژیکی از جمله روز تا گلدهی (R1)، روز تا غلاف دهی (R3)، روز تا دانه بندی (R5)، روز تا شروع رسیدگی (R7) و روز تا رسیدگی کامل (R8) بود که در فصل رشد روی ۱۰ بوته مشخص بر اساس روش Fehr & Cavienss (1977) انجام شد. به این نحو که ۱۰ بوته انتخاب و با یک نخ قرمز مشخص گردید و سپس با فاصله هر دو روز یکبار مراحل فنولوژیکی مورد بررسی قرار گرفت.

دیم و عاری از آفات، علف های هرز و بیماری های باقلا انجام شد، هر دو تا سه هفته یکبار، برای مبارزه با آفات از جمله شته سیاه باقلا (*Aphis fabae*) از سم ایمیداکلوپرامید (کنفیدور) به میزان ۲۵۰ سی سی در هکتار، و به منظور جلوگیری از بیماری های قارچی مانند لکه شکلاتی (*Botrytis fabae*) و برق زدگی (*Ascochyta fabae*) از سم بنومیل به نسبت دو در هزار استفاده گردید. به خاطر انجام عملیات تهیه زمین مناسب، قبل از کاشت، مشکل علف های هرز هنگام سبزشدن وجود نداشت و پس از آن به صورت هفتگی عملیات وجین به صورت دستی انجام شد.

جدول ۱- مشخصات خاک محل اجرای آزمایش (عمق ۰-۳۰ سانتی متری)
Table1. Soil characteristics in experimental place (depth 0 to 30 cm)

مشخصه Characteristic	مقدار Mount
Sulphor (ppm) گوگرد (قسمت در میلیون)	47.3
هدایت الکتریکی (دسی زمینس) (Ec)	1.1
اسیدیته (pH)	7.6
درصد مواد خنثی شونده T.N.V%	10.5
کربن آلی (درصد) Organic carbon (%)	1.16
نیترژن (قسمت در میلیون) Nitrogen (ppm)	0.7
فسفر قابل جذب (قسمت در میلیون) Aolutely phosphor (ppm)	12.3
پتاسیم قابل جذب (قسمت در میلیون) Absolutely potassium (ppm)	414
رس (درصد) Clay (%)	30
لای (درصد) Silt (%)	62
ماسه (درصد) Sand (%)	8

($RMSE^1$)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده ($NRMSE^2$) و خط ۱:۱ استفاده گردید. هرچه مقدار R^2 حاصل از رگرسیون خطی توابع و خط ۱:۱ به یک نزدیک تر باشد، نشان دهنده همبستگی بالا بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده است و نشانه توصیف بهتر مدل در شبیه سازی صفت مورد نظر می باشد. علاوه بر آن مدل ایده آل آن است که در رگرسیون مقادیر شبیه سازی شده در مقابل مقادیر اندازه گیری شده ضرایب $a=0$ و $b=1$ به دست آیند.

نتایج و بحث

خصوصیات فنولوژیکی

نتایج حاصل از مدل بیانگر پاسخگویی خوب مدل برای مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه باقلا در شرایط گنبد بود. مدل به غیر از مرحله روز از کاشت تا سبزشدن، سایر مراحل (روز از کاشت تا گل دهی، روز از کاشت تا غلاف دهی، روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیکی و روز از کاشت تا برداشت) را به خوبی برآورد کرد (جدول ۳).

توصیف مدل

مدل استفاده شده در این مطالعه مشابه با مدل نخود *Soltani et al, (1999)* SSM-iLegume-Chickpea توسط است. در این مدل جهت پیش بینی پارامترهای مختلف فنولوژیکی نیاز به مجموعه ای از اطلاعات پایه است که در جدول ۲ آورده شده است. برای استفاده از این مدل، ابتدا اقدام به تعریف سناریوهایی بر اساس تاریخ کاشت و تراکم مورد مطالعه در آزمایش مزرعه ای گردید و در نهایت خروجی مدل (خروجی های مربوط به مراحل فنولوژی، حداکثر سطح برگ، عملکرد اقتصادی و بیولوژیکی و شاخص برداشت) با داده های واقعی به دست آمده از آزمایش مزرعه ای مورد ارزیابی قرار گرفت.

داده های هواشناسی و اقلیمی بر اساس داده های مربوط به سال های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۳ گنبد مورد استفاده قرار گرفت. برای اجرای مدل، ۲۴ سناریو شامل ترکیبات مختلف تاریخ کاشت و تراکم مورد استفاده در آزمایش های مزرعه ای تعریف گردید. جهت مقایسه داده های شبیه سازی شده با داده های به دست آمده از آزمایش های مزرعه ای، از شاخص های ارزیابی، ضریب تبیین (R^2)، جذر میانگین مربعات خطا

1. Root mean square error
2. Normalized root mean square error

جدول ۲- پارامترهای ورودی مورد نیاز مدل

Table 2. Needed input parameters for model

پارامتر (مخفف) Parameter (abbreviation)	واحد Unit
داده های هواشناسی و اقلیمی Weather and climate data	
Maximum daily temperature (TMAX) حداکثر دمای روزانه	Degree Celsius (°C) درجه سلسیوس
Minimum daily temperature (TMIN) حداقل دمای روزانه	Degree Celsius (°C) درجه سلسیوس
Solar radiation (SRAD) تابش خورشیدی روزانه	Megajoule per square meter and per day مگاژول در مترمربع در روز
Daily rainfall (RAIN) بارندگی روزانه	Millimeter میلی متر
ویژگی های خاک Soil characteristics	
Albedo (SALB) آلبیدو	No ندارد
Drainage factor (DRAINF) ضریب زهکشی	میلی متر بر میلی متر Millimeter per Millimeter
Volumetric soil water content at drained upper limit (IDUL) کسر حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی	سانتی متر بر سانتی متر Centimeter per Centimeter
Volumetric soil water content at crop lower limit (ILL) کسر حجمی رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی	سانتی متر بر سانتی متر Centimeter per Centimeter
Volumetric soil water content at saturation (ISAT) کسر حجمی رطوبت در نقطه اشباع	سانتی متر بر سانتی متر Centimeter per Centimeter
Curve number (CN) شماره منحنی خاک	No ندارد
مدیریت زراعی Agronomic management	
Sowing date (PDOY) تاریخ کاشت	Day of year since the 1st January روز سال از اول ژانویه
Density (DEN) تراکم	Plant per square meter بوته در مترمربع
Initial soil water in sowing time (ISW) رطوبت خاک در موقع کاشت	میلی متر Millimeter
Irrigation threshold level (IRGLVL) کسر آب قابل تعرق خاک برای انجام آبیاری	No ندارد

جدول ۳- پارامترهای ریاضی و آماری مربوط به صفات مختلف مورد مطالعه به دست آمده از مدل و آزمایش های مزرعه ای

Table 3. Mathematical and statistical parameters related to the various traits studied by the model and field experiments

صفت Parameter	حداکثر Maximum		حداقل Minimum		میانگین Mean		پارامترهای آماری Statistical parameters		
	واقعی Actual	پیش بینی شده T.N.R	واقعی Actual	پیش بینی شده T.N.R	واقعی Actual	پیش بینی شده Predicted	R ²	RMSE	NRMSE
روز تا سبز شدن Days to emergence	43	14	5	22	36	9	0.19	6.23	0.29
روز تا گلدهی Days to flowering	111	131	87	88	96	108	0.89	2.99	0.12
روز تا شروع رشد دانه Days to start of seed grow	131	141	101	100	114	121	0.81	5.47	0.18
روز تا دانه دهی Days to seed formation	134	147	103	108	118	127	0.84	5.1	0.16
روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی Days to physiological maturity	178	175	128	138	150	158	0.9	5.84	0.12
روز تا برداشت Days to harvest	190	183	133	136	157	166	0.91	6.23	0.11
سطح برگ ماکزیمم Maximum leaf area (m ²)	3.71	2.7	1.33	0.82	2.53	1.58	0.4	0.68	0.29
عملکرد دانه (گرم در مترمربع) Seed yield (g/m ²)	519.4	249.8	202.5	129.4	325.3	190.2	0.017	32.42	0.10
شاخص برداشت Harvest Index (%)	52.2	56	34	44	46.3	50.1	0.006	5.3	0.29
عملکرد بیولوژیک (گرم در مترمربع) Biological yield (g/m ²)	787	497	305	252	490.3	381	0.09	66.29	0.14

به ترتیب معادل ۱۷۵ و ۱۳۸ روز و میانگین ۱۵۸ روز به دست آمد. در خصوص این پارامتر، ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب برابر ۰/۹، ۵/۸۴ و ۰/۱۲ به دست آمد که همگی نشان دهنده پیش بینی خوب مدل می باشد (جدول ۳). مقادیر روز تا رسیدگی فیزیولوژیک واقعی و پیش بینی شده مدل نیز در محدوده ۱۵ درصد از خط ۱:۱ قرار دارند (شکل ۱).

روز تا برداشت: نتایج مطالعه نشان داد که روز تا برداشت پیش بینی شده توسط مدل از بالاترین دقت نسبت به سایر پارامترهای مورد مطالعه برخوردار بود، به نحوی که مقدار حداکثر روز تا برداشت که توسط مدل پیش بینی شده بود، معادل ۱۸۳ روز و حداقل این عدد معادل ۱۴۶ روز و با میانگین ۱۶۶ روز پیش بینی گردید. در مقابل حداکثر، حداقل و میانگین روز تا برداشت به دست آمده از آزمایش های مزرعه ای به ترتیب برابر ۱۹۰، ۱۳۳ و ۱۵۰ روز بود. ضریب تبیین به دست آمده حاصل آنالیز رگرسیون خطی توابع بین روز تا برداشت اندازه گیری شده و مقادیر پیش بینی شده برابر ۰/۹۱ بود که این مقدار به خوبی نشان می دهد که مدل، مقادیر مناسبی را از این پارامتر پیش بینی نموده است (جدول ۳). علاوه بر آن، سایر پارامترهای آماری و نمودار خط ۱:۱ نیز تأییدکننده مطلب فوق می باشد (شکل ۱).

(Hundale & Kaur (1997) به منظور پیش بینی عملکرد گندم در دشت های آبی منطقه پنجاب هندوستان با استفاده از مدل و داده های اقلیمی پنج ساله، عملکرد دانه، ماده خشک کل، مراحل فنولوژیک، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیک گندم را شبیه سازی کردند. مقایسه نتایج شبیه سازی شده با نتایج مشاهده شده در مزرعه نشان داد که مدل به طور رضایت بخشی عملکرد دانه، ماده خشک و مراحل فنولوژیک را پیش بینی کرد.

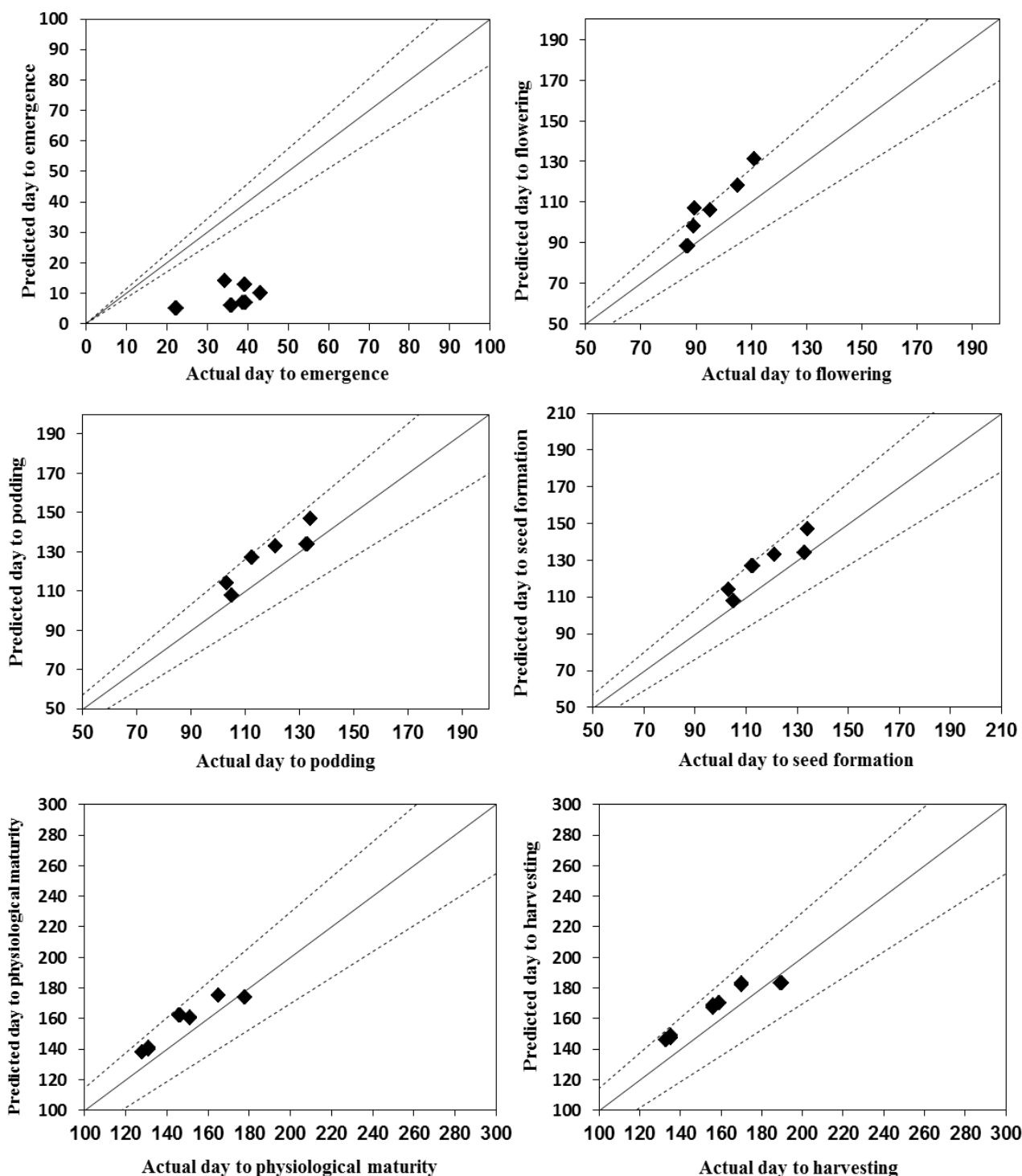
حداکثر سطح برگ: نتایج حاصل از مدل در خصوص حداکثر سطح برگ نشان داد که مدل به خوبی این خصوصیت را نمی تواند در شرایط گنبد پیش بینی نماید. ضریب تبیین به دست آمده حاصل تابع رگرسیون بین مقادیر داده های پیش بینی شده و واقعی نیز به دلیل کم تر بودن از ۰/۶ بیانگر این مطلب بود ($R^2 = 0/4$) (جدول ۳). (Xue et al, (2008) نیز بیان کردند که مدل مورد استفاده در مطالعه ایشان قادر نبود تا به خوبی حداکثر شاخص سطح برگ را پیش بینی کند.

روز از کاشت تا گل دهی: جهت بررسی این پارامتر، روز تا گل دهی مشاهده شده از مزرعه با روز تا گل دهی پیش بینی شده توسط مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. مقادیر مشاهده شده در آزمایش مزرعه ای با حداکثر و حداقل معادل ۱۱۱ و ۸۷ روز و میانگین ۹۶ روز بود، در صورتی که این مقادیر در نتایج پیش بینی شده معادل ۱۳۱ و ۸۸ روز و میانگین ۱۰۸ بود. مقایسه بین روز تا گلدهی واقعی و پیش بینی شده نشان داد که داده ها در دامنه ۱۵ درصد از خط ۱:۱ قرار دارند که بیانگر کارایی خوب مدل می باشد (شکل ۱). ضریب تبیین بین این مقادیر در خصوص روز تا گلدهی برابر ۰/۸۹ به دست آمد. جذر میانگین مربعات خطا و مقدار نرمال شده آن به ترتیب معادل ۲/۹۹ و ۰/۱۲ روز بود (جدول ۳).

روز از کاشت تا غلاف دهی: نتایج نشان داد که مدل، روز تا غلاف دهی را نیز به خوبی پیش بینی کرد، به نحوی که ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده، بین داده های به دست آمده از آزمایش های مزرعه ای و داده های پیش بینی شده از مدل به ترتیب معادل ۰/۸۱، ۲/۹۹ و ۰/۱۲ بود (جدول ۳). مقایسه داده های حاصل مقادیر اندازه گیری شده و پیش بینی شده نسبت به خط ۱:۱ در محدوده ۱۵ درصد این خط قرار گرفتند (شکل ۱) که آن هم بیانگر پیش بینی خوب مدل از خصوصیت فنولوژیک روز تا غلاف دهی با قلا بود.

روز از کاشت تا شروع رشد دانه: مقایسه ضریب تبیین حاصل از آنالیز رگرسیون خطی توابع بین مقادیر روز تا شروع رشد دانه اندازه گیری شده و شبیه سازی شده گیاه با قلا در شرایط گنبد نشان داد که مدل، ارزیابی خوبی از این پارامتر داشت ($R^2 = 0/84$). علاوه بر آن، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده نیز به ترتیب با مقادیری معادل ۵/۱ و ۰/۱۶ بیانگر پیش بینی خوب این پارامتر توسط مدل بود (جدول ۳). نمودار مربوط به مقادیر اندازه گیری شده روز تا شروع رشد دانه و مقادیر پیش بینی شده آن نیز نشان داد که تمامی داده ها در محدوده ۱۵ درصد خط ۱:۱ قرار داشتند (شکل ۱).

روز از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک: مقادیر روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به دست آمده از مزرعه در یک محدوده ای از مقادیر ۱۲۸ تا ۱۷۸ روز و میانگین ۱۵۰ روز به دست آمد، در مقابل نیز اعداد به دست آمده از مدل نیز تقریباً در دامنه ای مشابه با اعداد واقعی به دست آمد، به نحوی که حداکثر و حداقل روز تا رسیدگی فیزیولوژیک به دست آمده از مدل

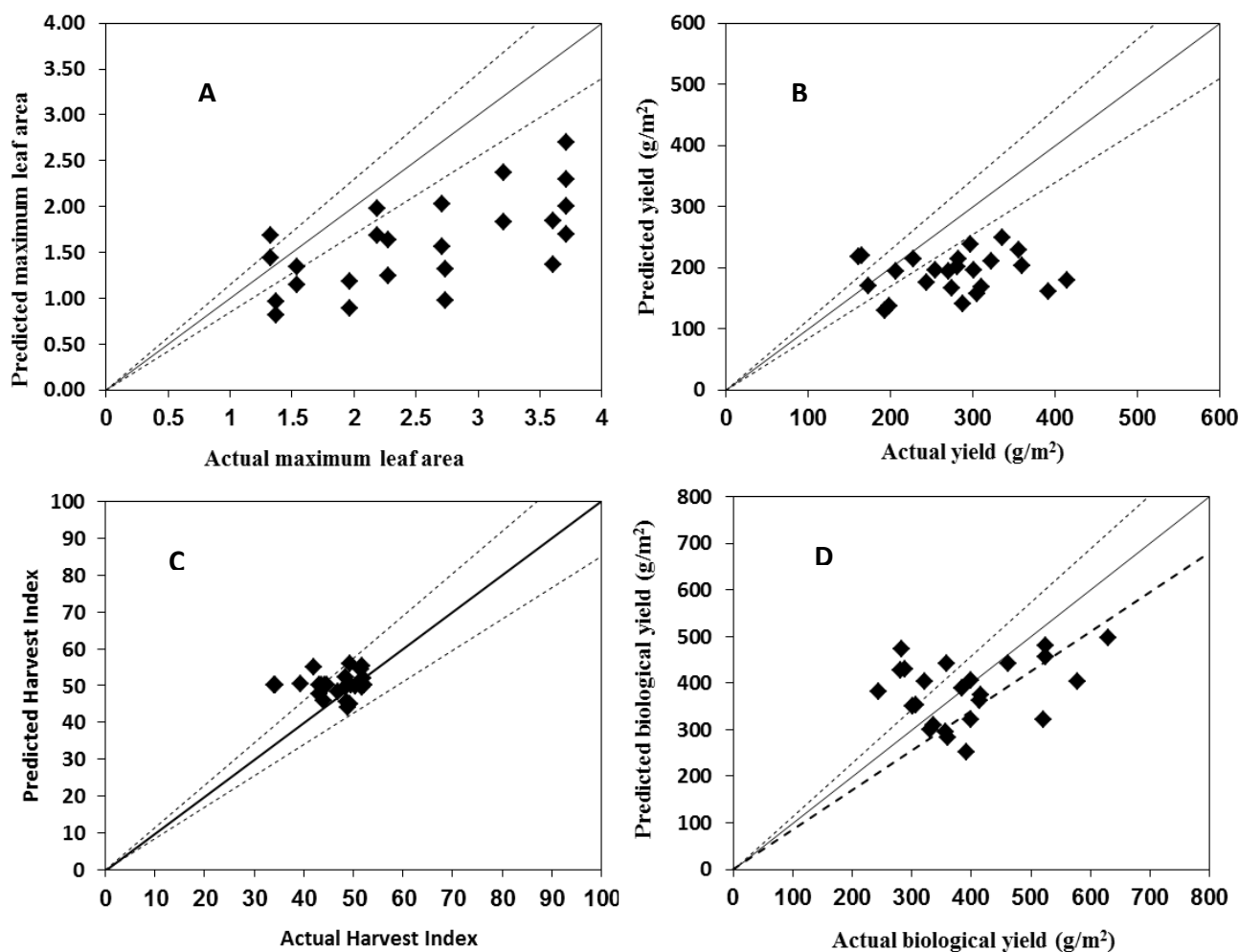


شکل ۱- مراحل مختلف فنولوژیکی مشاهده شده در مقابل مراحل مختلف فنولوژیکی پیش بینی شده خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط ۱:۱/۱۵ و ۱:۰/۸۵ می باشد.

Fig. 1. Observed different phenological stages versus predicted different phenological stages
Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are 1:1.15 and 1:0.85, respectively.

بین عملکرد واقعی و عملکرد پیش بینی شده نیز مشخص گردید که داده ها تقریباً خارج از محدوده ۱۵ درصد خط ۱:۱ قرار دارند (شکل ۲). نتایج به دست آمده از این مطالعه با یافته های Bagheri & Torabi (2015) در خصوص باقلا برای استان گلستان مطابقت نداشت. Aryakia *et al*, (2017) نیز در مورد لوبیاچیتی به نتایج مشابه دست پیدا کردند.

عملکرد دانه: مقایسه آموزه های آماری مربوط به مقایسه بین عملکرد به دست آمده از آزمایش های مزرعه ای و عملکرد پیش بینی شده در مدل نشان داد که مدل تحت شرایط مطالعه قادر نیست تا پیش بینی خوبی را از عملکرد به ما بدهد. به عبارتی ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب برابر ۰/۰۱۷، ۳۱/۴۲ و ۰/۱ به دست آمد (جدول ۳). علاوه بر این، در خصوص نمودار



شکل ۲- حداکثر سطح برگ (A)، عملکرد (B)، شاخص برداشت (C) و عملکرد بیولوژیک (D) مشاهده شده در مقابل مقادیر پیش بینی شده آنها

خط توپر، معرف خط ۱:۱ و خطوط نقطه چین بالا و پایین به ترتیب بیانگر خط ۱:۱/۱۵ و ۱:۰/۸۵ می باشد.

Fig. 2. Predicted maximum leaf area (A), yield (B), harvest index (C) and biological yield versus them actual mounts
Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are 1:1.15 and 1:0.85, respectively.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از پیش بینی مدل نشان داد که مدل می تواند به خوبی مراحل مختلف فنولوژیکی گیاه را برای شرایط آب و هوایی گنبد پیش بینی نماید. دقت پیش بینی مدل در مراحل فنولوژیکی منتهی به زمان برداشت به خصوص پیش بینی روز تا رسیدگی فیزیولوژیک و روز تا برداشت از دقت خیلی بالاتری نسبت به سایر مراحل فنولوژیکی برخوردار بود (جدول ۱). در مقابل، نتایج این مطالعه حاکی از عدم پیش بینی مناسب پارامترهای عملکردی شامل عملکرد اقتصادی، شاخص برداشت و عملکرد بیولوژیک گیاه باقلا در شرایط مطالعه بود. علاوه بر آن، مدل پیش بینی مناسبی را از حداکثر سطح برگ به ما ارائه نکرد. شاید بتوان دلیل این امر را این گونه بیان نمود که چون ما از مدل نخود جهت مدل سازی برای گیاه باقلا استفاده نمودیم و همچنین بعضی از پارامترهای مورد نیاز در مدل به دلیل عدم وجود این پارامترها برای گیاه باقلا، ناگزیر از پارامترهای نخود استفاده گردید، این امر باعث شد تا مدل نتواند به خوبی بعضی از پارامترها را توجیه کند.

شاخص برداشت: نتایج نشان داد که مدل، پیش بینی مناسبی را از شاخص برداشت باقلا برای شرایط گنبد نمی دهد. با وجود قرار گرفتن بیشتر داده ها در محدوده ۱۵ درصد خط ۱:۱، پارامترهای آماری بیانگر عدم توجیه مناسب مقادیر پیش بینی شده شاخص برداشت توسط مدل بود. به طور مثال، ضریب تبیین برابر ۰/۰۰۶ به دست آمد (جدول ۳ و شکل ۲).

عملکرد بیولوژیک: عملکرد بیولوژیک به دست آمده در آزمایش مزرعه ای در دامنه ای از حداقل معادل ۳۰۵ گرم در مترمربع تا حداکثر ۷۸۷ گرم در مترمربع و میانگین ۴۹۰/۳ گرم در مترمربع به دست آمد. مدل نیز مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین عملکرد بیولوژیک را به ترتیب معادل ۲۵۲، ۴۹۷ و ۳۸۱ گرم در مترمربع محاسبه نمود. مقایسه بین این دو سری داده نیز نشان داد که مدل در خصوص این پارامتر نیز همانند عملکرد اقتصادی قادر نیست تا پیش بینی مناسبی را ارائه نماید. پارامترهای آماری شامل ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده نیز بیانگر این مطلب بود (جدول ۳).

منابع

1. Aryakia, E., Torabi, B., and Aryakia, A. 2017. Evaluating the simulate and prediction model of chitti bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grain yield. Iranian Journal of Field Crop Science 48(3): 591-600. (In Persian with English Summary).
2. Bagheri, V., and Torabi, B. 2015. A simple model for simulation of growth, development and yield of faba bean in Golestan Province. Electronic Journal of Crop Production 8(2): 133-152. (In Persian with English Summary).
3. Boote, K.G., Jones, J.W., and Pickering, N.B. 1996. Potential uses and limitation of crop models. Agronomy Journal 88(5): 704-716.
4. Fehr, W.R., and Cavienss, G.F. 1977. Stage of Soybean Development. Special Report 80, Cooperative Extension. Low State University Ameslowa. 110 pp.
5. Hundale, S.S., and Kaur, P. 1997. Application of CERES-Wheat model to yield productions in the irrigated plains of the Indian-Punjab. The Journal of Agricultural Science 129: 13-18.
6. Jafarodeh, S., Zeinali, E., Soltani, A., and Sheikh, F. 2017. The effect of seed size and seeding date on the phenological, morphological and agronomic characteristics of faba bean under rainfed conditions in Gorgan. Agricultural Crop Management 19(1): 87-103. (In Persian with English Summary).
7. Majnoon Hosseini, N. 2008. Legumes in Iran. Jihad Daneshgahi. Press, 148p. (In Persian).
8. Rahemi Karizaki A., and Soltani, A. 2005. Allometric relationships between leaf area and vegetative qualities in plant chickpea. In: Proceeding of the First National Conference on Pulse in Iran. 20-21 November 2005. Research Center for Plant Sciences. Ferdowsi University of Mashhad Mashhad, Iran. (In Persian with English Summary)
9. Rahemi Karizaki, A. 2011. Investigation the Changes of Physiological and Morphological Traits Associated with Wheat (*Triticum aestivum* L.) Yield. A Thesis Ph.D, Sciences and Natural Resources Gorgan University Agricultural. 104 p. (In Persian).
10. Sinclair, T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. Advance in Agronomy 65: 215-265.
11. Sinclair, T.R., and Seligman, G. 1996. Crop modeling: from infancy to maturity. Agronomy Journal 88(5): 698-704.
12. Soltani, A., Ghassemi-Golezani, K., Rahimzadeh-Khooie, F., and Moghaddam, M. 1999. A simple model for chickpea growth and yield. Journal Field Crops Research 62(2): 213-224.

13. Soltani, A., Roberston, M.J., Mohammad-Nejad, Y., and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crops Research* 99(1): 1-33.
14. Torabi, B. 2004. Prediction of Phenological Development in Chickpea. MSc. Thesis, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran. (In Persian).
15. Turpin, J.E., Robertson, M.J., Hillcoat, N.S., and Herridge, D.F. 2002. Faba bean (*Vicia faba* L.) in Australia's northern grains belt: canopy development, biomass, and nitrogen accumulation and partitioning. *Australian Journal Agriculture Research* 53(2): 227-237.
16. Van Ittersum, M.K., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans L., and Goudriaan, J. 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal Agronomy* 18(3): 201-234.
17. Xue, C.Y., Yang, X.G., Bouman, B.A.M., Deng, W., Zhang, Q.P., Yan, W.X., Zhang, T., Rouzi, A., and Wang, H. 2008. Optimizing yield, water requirements, and water productivity of aerobic rice for the North China Plain. *Irrigation Science* 26: 459-474.

Modeling of phenological stages and yield parameters of faba bean in the East of Golestan province conditions

Rahemi Karizaki^{1*}, A. & Hosseini², S.H.

1. Assistant Professor, Department of Plant Production, Gonbad University, Gonbad, Iran
2. PhD. Student of Agronomy, Department of Plant Production, Gonbad University, Gonbad, Iran;
hosseini2002us@yahoo.com

Received: 10 January 2018
Accepted: 21 July 2018

DOI: 10.22067/ijpr.v11i1.69427

Introduction

Bean is now considered as one of the most important products in the Middle East, Africa, China and parts of Europe and Australia in human and animal nutrition (Turpin *et al.*, 2002). Bean is a suitable herb in rotation with cereals. Because it can break the cycle of many common diseases of grains and reduce the population of nematodes. The model is a tool that helps us interpret and understand the world in which we live (Boote *et al.*, 2003). Precise prediction of the phenology of crops is one of the essential features of simulation models. From models, improved crop production management can be used to predict the probable dates of harvesting or predicting final yields, or more actively, to predict the timing of phenological events. The production and distribution of dry matter in crop simulation models is largely regulated by the timing of development stages. Understanding how the bean's phenological development response to day length and temperature, creates a model for predicting the time of occurrence of different stages of development of this crop. The aim of this study was to obtain a model for predicting phenological stages, maximum leaf area index, economic and biological yield, as well as harvest index of bean plant under Gonbad conditions.

Materials & Methods

For the main data, the values obtained from field experiments were carried out at the research farm of the Faculty of Agricultural Sciences and Natural Resources of Gonbad-e-Kavou's University under favorable rainfed conditions and free of pests, weeds and bean diseases. The experiment was a factorial based on randomized complete block design with four replications in two years. Planting density was at four levels (8, 12, 16 and 20 plants/m²) and sowing date was in three levels (13 November, 1391, 13 December, 1391, 13 December 2012 and 7 December 2011, December 4, 2011 and December 17, 2011). The model used in this study was similar to that of Soltani *et al.* (1999) for chickpea. Meteorological and climatic data was from 1994 to 2014 of Gonbad. 24 different scenarios including different combinations of density and planting dates were defined for two years in the model. In order to compare simulated data with field experiment data, evaluation indices, explanation factor (R^2), root mean square error, normalized root mean square error and line 1: 1 were used. The higher the R^2 value from the linear regression of functions and the 1: 1 line closer to one, indicates a high correlation between simulated and observed values and is a sign of a better description of the model in simulating the desired attribute.

Results & Discussion

The coefficient of explanation between the predicted values and obtained from field experiments on day to flowering was 0.89. The root mean square error and its normalized value were 2.99 and 1.29 days, respectively. Also, comparison of the number of days to harvest obtained from field experiments with values obtained from the model showed that all of these values are in the range of 15% up and down the 1:1 line. The results showed that the model also well predicted day to pod setting. So that the explanation coefficient, root mean square error and normalized root mean square error, between the data obtained from field experiments and the predicted data of the model were equal to 0.81, 2.99, and 12.0, respectively. Regarding the day to the physiological maturity, the coefficient of explanation, root mean square error and normalized root mean square error were 0.9, 5.84, and 12.0, respectively, which all represent a good prediction of the

*Corresponding Author: alirahemi@yahoo.com

model. The explanation coefficient (R^2) was obtained by analyzing the linear regression of the functions between day to harvest and the predicted values equal to 0.91.

Conclusion

The results showed that the model could well predict the phenological stages of the faba bean, with the exception of the day to the emergence. This prediction was at the highest level in the stages leading to bean harvest, so that the highest coefficient of explanation with a value of 0.91 was found for the number of days to bean harvest. Our study showed that the above model cannot predict well the maximum leaf area index, yield, biological yield and harvest index in dune weather conditions and under our farm experiments.

Keywords: Beans, Model, Model description, Simulation