



## مدلی ساده برای شبیه سازی رشد، نمو و عملکرد گیاه باقلا در استان گلستان

### \*واحد باقری<sup>۱</sup> و بنیامین ترابی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، استادیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
تاریخ دریافت: ۹۳/۷/۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۴/۱۴

#### چکیده

**سابقه و هدف:** باقلا یکی از مهمترین بقولات دانه‌ای در دنیا به شمار می‌رود. باتوجه به افزایش جمعیت دنیا و کاهش دسترسی به سایر منابع پروتئینی، تقاضا برای این گیاه رو به افزایش است. مدل ابزاری است که ما را در تفسیر و درک دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم، یاری می‌کند. دانشمندان و مهندسين، از انواع مدل‌ها به عنوان 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. پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی به شمار می‌رود. تولید و تسهیم ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی به وسیله زمان‌بندی مراحل نمو تنظیم می‌شود. برای پیش‌بینی رشد و عملکرد لازم است که زیرمدل‌های مربوط به فنولوژی، تولید و توزیع ماده خشک، تغییرات سطح برگ و موازنه آب خاک مورد مطالعه قرار گیرند. هدف از این مطالعه ساخت و ارزیابی یک مدل ساده رشد و عملکرد باقلا برای استفاده در تجزیه و تحلیل اثرات عوامل آب و هوایی، خاک، مدیریت زراعی و ویژگی‌های رقم زراعی بر عملکرد باقلا در شرایط گرگان بود.

**مواد و روش‌ها:** در مطالعه حاضر، برای پیش‌بینی عملکرد باقلا در شرایط گرگان، پارامترهای زیرمدل‌های مذکور با استفاده از داده‌های مربوط به تاریخ‌های کاشت مختلف و داده‌های مربوط به سایر پژوهشگران در نقاط مختلف دنیا برآورد گردید. با استفاده از مدل رشد و عملکرد، تغییرات روزانه مربوط به فنولوژی، ماده خشک، سطح برگ و موازنه آب خاک از طریق آمار روزانه هواشناسی (دمای حداقل، دمای حداکثر، مقدار تابش و میزان بارندگی) محاسبه شد و سپس عملکرد در پایان فصل رشد پیش‌بینی گردید. زیر برنامه موازنه آب خاک

\*نویسنده مسئول: [vahed1360@yahoo.com](mailto:vahed1360@yahoo.com)

نیز برای شبیه سازی تغییرات آب خاک و تعیین شدت تنش در مدل گنجاده شده است. همچنین عملکرد شبیه سازی شده بر اساس پارامترهای به دست آمده و عملکرد مشاهده شده با یکدیگر مورد ارزیابی قرار گرفته اند.

**یافته ها:** عملکرد مشاهده شده در این مطالعه حدود ۲۵۰۰ تا ۴۵۲۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۴۲۲ کیلوگرم در هکتار بود؛ در حالی که دامنه تغییرات عملکرد پیش بینی شده ۲۸۲۰ تا ۳۹۵۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۴۷۸ کیلوگرم در هکتار بود. در این مطالعه همه نقاط در محدوده ۸۵٪ از خط ۱:۱ قرار گرفتند. مقدار  $R^2$  برای مدل ۰.۶۷ برآورد شد. همچنین جذر میانگین مربعات انحرافات برابر ۵۲۱ کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات برابر ۰.۳۹ به دست آمد. برای ارزیابی مدل و مقایسه آن با واقعیت از برخی آماره ها استفاده شد. این آماره ها مبتنی بر اختلاف مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده و آماره ها مبتنی بر همبستگی آنها است.

**نتیجه گیری:** بنابراین، نتیجه گیری شد که مدل می تواند برای پیش بینی عملکرد باقلا در شرایط گرگان از دقت مناسبی برخوردار باشد. بدیهی است که مدل ها زمانی موثر واقع می شوند که با تحلیل شرایط فیزیولوژیک و اکولوژیک و با آزمایش ها و اندازه گیری های تجربی از سیستم به کار گرفته شوند.

**واژه های کلیدی:** باقلا، شبیه سازی، فنولوژی، مدل

## مقدمه

باقلا با نام علمی *Vicia faba* L. به خانواده Fabaceae تعلق دارد. منشاء احتمالی باقلا جنوب غربی آسیا گزارش شده است (۱۶). وجود ۲۳/۴ درصد پروتئین در دانه خشک باقلا باعث شده است تا امروزه به عنوان یکی از حبوبات عمده در منطقه خاورمیانه، افریقا، چین و حتی نقاطی از اروپا و استرالیا در تغذیه انسان و دام توجه زیادی به آن شود (۳۶). باقلا با سطح زیر کشت ۲/۹ میلیون هکتار یکی از مهمترین بقولات دانه‌ای در دنیا به شمار می‌رود. سطح زیر کشت باقلا در ایران حدود ۳۰۰۰۰ هکتار است که عمده‌ترین مناطق تولید آن استان‌های گلستان، خوزستان، مازندران و گیلان می‌باشند (۱۶)، با توجه به افزایش جمعیت دنیا و کاهش دسترسی به سایر منابع پروتئینی، تقاضا برای این گیاه رو به افزایش است (۳۶). مدل ابزاری است که ما را در تفسیر و درک دنیایی که در آن زندگی می‌کنیم، یاری می‌کند. دانشمندان و مهندسين، از انواع مدل‌ها به عنوان 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 (۴، ۲۶ و ۳۷). پیش‌بینی دقیق فنولوژی گیاهان زراعی از ویژگی‌های ضروری مدل‌های شبیه‌سازی به شمار می‌رود (۳۲، ۳۴). تولید و تسهیم ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حد زیادی به وسیله زمان‌بندی مراحل نمو تنظیم می‌شود (۳۲، ۲۱). 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 مابین فرایندهای رشد و یافتن شرایط مطلوب رشد به نتایج قابل توجهی دست یافته 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 (۴، ۲۶). 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 (۴، ۲۶). اجزای عملکرد تحت تاثیر اعمال مدیریت (کوددهی، آبیاری، کنترل آفات و بیماری‌ها و...)، ژنوتیپ و محیط قرار می‌گیرند و

غالباً ما را در توجیه علت کاهش عملکرد یاری می‌کند (۲۰). 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 حوادث 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. 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 دو رگ‌گیری، دیررسی و زودرسی، بهبود دانه بستن، مورفولوژی گل‌ها، افزایش رشد تک دانه‌ها 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 (۲۶، ۲۷، ۳۴).

استفاده از یک مدل شبیه‌سازی برای پیش‌بینی رشد و عملکرد، بسته به پارامترهای ورودی آن مدل در منطقه مورد نظر دارد. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان مثل سایر ابزارها دارای نقاط قوت و محدودیت‌های خاص خود هستند. بنابراین حصول نتیجه مطلوب از به کارگیری مدل‌ها مستلزم شناخت مناسب از توانایی‌ها و محدودیت‌های آن‌ها می‌باشد. هدف از این تحقیق، ایجاد یک مدل ساده برای پیش‌بینی عملکرد باقلا با توجه به فنولوژی، تولید و توزیع ماده خشک، میزان رشد برگ و موازنه آب خاک می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

**توصیف مدل:** مدل مورد استفاده مشابه مدل سلطانی و همکاران (۱۹۹۹) بود (۲۹). برای اجرای مدل نیاز به یک سری ورودی می‌باشد که در جدول (۱) آورده شده است. همچنین کلیه پارامترهای مورد نیاز مدل که از مقالات مختلف گردآوری و محاسبه شده است در جدول (۲) آورده است. این مدل می‌تواند با استفاده از این پارامترهای ورودی، محاسبات را برای زمان وقوع مراحل مختلف نموی، سرعت رشد روزانه محصول، عملکرد دانه، شاخص برداشت و سطح برگ پیش‌بینی کند. همچنین در این مدل اجزای موازنه آب، آب مورد نیاز آبیاری و دفعات آبیاری نیز برآورد می‌شود.

جدول ۱. پارامترهاي ورودی مورد نیاز مدل باقلا

Table 1. Needed input parameters for faba bean model

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

جدول ۲. نام، واحد اندازه گیری، مقدار تخمین و منبع تخمین پارامترهای ورودی مدل

Table 2. Name, unit, amount and source of estimate of the model input parameters

منبع تخمین	تخمین	واحد	پارامتر (مخفف)
(۱)	1.61	درجه سلسیوس Degree Celsius(°C)	دمای پایه برای نمو (TB) Base temperature for development
(۱)	25	درجه سلسیوس Degree Celsius(°C)	دمای مطلوب برای نمو (TO) Optimum temperature for development
(۱)	35	درجه سلسیوس Degree Celsius(°C)	دمای سقف برای نمو (TC) Ceiling temperature for development
*(۲۷)	2	درجه سلسیوس Degree Celsius(°C)	دمای پایه برای کارایی مصرف تابش (TBRUE) Base temperature for radiation use efficiency
*(۲۷)	14	درجه سلسیوس Degree Celsius(°C)	دمای مطلوب تحتانی برای کارایی مصرف تابش (TO1RUE) Lower optimum temperature for radiation use efficiency
*(۲۷)	30	درجه سلسیوس Degree Celsius(°C)	دمای مطلوب فوقانی برای کارایی مصرف تابش (TO2RUE) Upper optimum temperature for radiation use efficiency
*(۲۷)	38	درجه سلسیوس Degree Celsius(°C)	دمای سقف برای کارایی مصرف تابش (TCRUE) Ceiling temperature for radiation use efficiency
(۲۵)	1.03	گرم بر مگاژول Gram per megajoule	کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی در شرایط مطلوب (IRUE) Radiation use efficiency under optimal growth conditions
(۲۲)	0.58	گرم بر مگاژول Gram per megajoule	نسبت کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی در بعد از شروع رشد دانه نسبت به قبل آن (RRUE) Ratio radiation use efficiency after growth grain than before it
(۷)	0.81	ندارد ---	ضریب خاموشی برای تابش فعال فتوسنتزی (K <sub>PAR</sub> ) Extinction coefficient for photosynthetically active radiation
(۳۶)	0.012	گرم در روز Gram per day	سرعت افزایش شاخص برداشت (DHI) Daily harvest index

واحد باقروی و بنیامین ترابی

ادامه جدول ۲.

منبع تخمین	تخمین	واحد	پارامتر (مخفف)
(۳۹)	(16.0.62)	(ندارد، بوته در متر مربع) ---, Plant per square (meter)	نقطه ۱ حداکثر شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم (P1) Point 1, relative maximum leaf area index versus density
(۳۹)	(22.0.78)	(ندارد، بوته در متر مربع) ---, Plant per square (meter)	نقطه ۲ حداکثر شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم (P2) Point 2, relative maximum leaf area index versus density
(۲۷)	(0.15.0.05)	(ندارد، ندارد) (---, ---)	نقطه ۱ شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نرمالیزه شده (D1) Point 1, relative leaf area index versus normalized development stage
(۲۷)	(0.50.0.95)	(ندارد، ندارد) (---, ---)	نقطه ۲ شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نرمالیزه شده (D2) Point 2, relative leaf area index versus normalized development stage
(۳۹)	4.8	ندارد ---	حداکثر شاخص سطح برگ مشاهده شده در منطقه (LAIMX) Maximum leaf area index
(۲۷)	0.35	ندارد ---	کسر آب قابل دسترس در هنگام شروع کاهش تولید ماده خشک (WSSG) FTSW threshold when dry matter production starts to decline
(۲۷)	0.25		کسر آب قابل دسترس در هنگام شروع کاهش تولید سطح برگ (WSSL) FTSW threshold when leaf area development starts to decline
(۲۷)	0.5	ندارد ---	ضریب خاموشی برای کل تابش خورشیدی در محاسبه تقسیم تبخیر و تعرق (KET) Extinction coefficient for global solar radiation
(۲۷)	0.23	ندارد ---	ضریب آلبیدوی گیاه (CALB) Crop albedo
(۲۷)	1200	میلی متر Millimeter	عمق موثر استخراج آب از خاک (SOLDEP) Soil depth

\* پارامترهای مشخص شده با علامت ستاره با توجه به عدم منبع مورد نظر، نشان دهنده استفاده از پارامترهای گیاه نخود در منطقه گرگان به جای باقلا می باشد.

## فنولوژی

به مطالعه نمو گیاه در رابطه با آب و هوا، فنولوژی اطلاق می‌شود (۱۷). دانش نمو فنولوژیک در درک رشد محصول، پتانسیل عملکرد و پیش‌بینی فنولوژی مهم می‌باشد (۱۰). اولین قدم برای به حداکثر رسانیدن عملکرد در مدیریت تولید یا اصلاح ژنتیکی گیاهی، این است که مطمئن شویم فنولوژی گیاه زراعی با منابع محیطی به خوبی تطبیق دارد؛ چرا که اگر گیاهان کشت شده از نظر تاریخ کاشت و تراکم در یک محیط معین محدودیتی نداشته باشند، در این صورت مهمترین عامل موثر بر عملکرد آنها، مدت زمان تا گلدهی می‌باشد (۳۳). گلدهی زود هنگام یا دیر هنگام موجب قرار گرفتن دوره رشد دانه در شرایط نامناسب می‌شود که در نهایت موجب کاهش عملکرد (۱۴) و ایجاد مشکلات زراعی مثل تاخیر در کاشت محصول بعدی خواهد شد. کشت موفق به انتخاب تاریخ کاشت مناسب و استقرار خوب گیاهچه‌ها وابسته است. قدرت بذر شامل جوانه‌زدن، سبز شدن سریع، یکنواخت، کامل و تولید گیاهچه‌های قوی است که جهت استقرار گیاهان و تولید محصول ضروری می‌باشد (۱۳). تشعشع، آب، مواد غذایی، دما و طول روز از مهمترین عوامل محیطی هستند که بر رشد و نمو گیاهان تاثیر می‌گذارند؛ کمی کردن اثرات این عوامل بر روی گیاهان، اساس مدل‌های شبیه‌سازی تولید محصولات می‌باشند (۲). اثر این عوامل به‌طور مشخصی بین فرایندهای نمو و رشدی متفاوت است. رشد به عنوان افزایش غیرقابل برگشت در ماده خشک، حجم، طول و یا سطح قسمتی یا همه گیاه است. مهمترین عامل موثر بر رشد، تشعشع می‌باشد. فرآیند نمو، عبارت است از عبور از مراحل فنولوژی مختلف بدون توجه به میزان رشد. بنابراین نمو مستلزم انجام تمایز در بافت‌ها می‌باشد. تغییرات متوالی از یک مرحله فنولوژیک به مرحله بعد به وسیله پدیده‌هایی نظیر جوانه‌زنی، رشد رویشی، تشکیل جوانه گل، گلدهی، تشکیل دانه و... مشخص می‌گردد (۲). مهمترین عوامل محیطی موثر بر نمو فنولوژیک در شرایط عدم محدودیت آب، دما و طول روز می‌باشد (۵).

درجه روز رشد (GDD) برای پیش‌بینی مراحل مختلف نمو با روش منحنی واکنش، به صورت زیر

$$G.D.D = (T_o - T_b) \times f(t)$$

محاسبه شد:

در این مطالعه با توجه به اطلاعات به‌دست آمده در مورد باقلا از مدل دو تکه‌ای برای توصیف مراحل مختلف نمو و محاسبه GDD به صورت زیر استفاده شد (۳۴):

### 1. Growing Degree Day



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

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

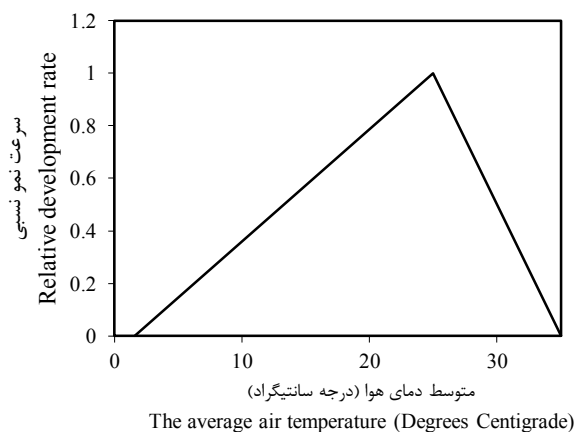
$$= 0 \quad \text{اگر} \quad T \leq T_b \text{ or } T \geq T_c$$

که در آن  $T$ ،  $T_b$ ،  $T_o$  و  $T_c$  به ترتیب متوسط دمای هوا، دمای پایه، دمای اپتیمم و دمای سقف می باشد. در این مطالعه، برای پیش بینی مدت زمان از کاشت تا مراحل مختلف نمو، از داده های مربوط به باقلا تحت شرایط استان گلستان در تاریخ کاشت ۷ آذر سال زراعی ۹۰-۹۱ بر اساس کاشت مرسوم منطقه استفاده شد (۱۲) (جدول ۳). GDD برای مراحل نمو مورد پیش بینی از کاشت تا مرحله سبز شدن، شروع گل دهی، شروع رشد دانه، پایان رشد دانه و زمان برداشت به ترتیب ۲۱۰، ۷۳۲، ۱۲۶۷، ۱۸۹۶ و ۱۹۷۲ درجه سلسیوس در روز بودند. با توجه به اینکه در منبع مورد استفاده مراحل مختلف نمو بر اساس روز گزارش شده بود لذا GDD روزانه محاسبه و با هم جمع گردید و در نهایت به صورت تجمعی ارائه گردید. شکل ۱ معادله فوق را نشان می دهد.

جدول ۳. داده هایی که از آنها برای تخمین برخی پارامترهای مدل یا ارزیابی مدل استفاده شده است.

Table 3. The data used for estimating some model parameters or model evaluation

منبع Reference	تیمار Treatment	عرض جغرافیایی Latitude	محل و سال آزمایش Year and Location
(۱۲)	رقم، تاریخ کاشت Cultivar, Sowing date	37°16'	گنبد کاووس، ۹۰-۹۱ Gonbad-e- Qabus, 91-90
(۱۹)	رقم، تاریخ کاشت، تراکم Cultivar, Sowing date, Density	37°85'	دانشگاه علوم کشاورزی گرگان، ۸۸-۸۹ Gorgan University of Agricultural Sciences, 89-88
(۸)	تاریخ کاشت، تراکم Sowing date, Density	53°	دانشگاه علوم کشاورزی کیلومتر ۹ جاده ساری، ۸۶-۸۷ Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 86-87
(۲۳)	رقم، تاریخ کاشت Cultivar, Sowing date	37°45'	ایستگاه تحقیقات کشاورزی هاشم آباد گرگان Research Station of Hashem-abad, Gorgan
(۳۹)	رقم، تاریخ کاشت، تراکم Cultivar, Sowing date, Density	37°85'	دانشگاه علوم کشاورزی گرگان، ۹۰-۹۱ Gorgan University of Agricultural Sciences, 90-91
(۱۱)	رقم، تاریخ کاشت، تراکم Cultivar, Sowing date, Density	37°16'	آستانه اشرفیه، ۸۰-۸۱ Astaneh-ye Ashrafiyeh, 80-81



شکل ۱- واکنش سرعت نمو نسبی به دما در باقلا

Figure 1. Response of relative development rate versus temperature in faba bean

**تولید و توزیع ماده خشک:** شبیه‌سازی تولید ماده خشک احتمالاً بخش مرکزی هر مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی است که خود تحت تاثیر مدل سازی نمو فنولوژیک و تغییرات سطح برگ نیز قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی توزیع ماده خشک نیز اهمیت دارد چون نتیجه توزیع ماده خشک، عملکرد دانه را مشخص می‌کند. روش‌های مختلفی برای پیش‌بینی تولید ماده خشک ابداع و استفاده شده‌اند. برخی از این روش‌ها بر پایه مدل سازی فتوسنتز، تنفس رشد و تنفس نگهداری می‌باشند که در آنها ابتدا شدت تشعشع روی برگ‌ها محاسبه می‌شود، سپس فتوسنتز ناخالص محاسبه می‌گردد و سرانجام با کسر تنفس نگهداری و رشد، مقدار بیوماس یا ماده خشک تولیدی روزانه حاصل می‌آید (۲۷). در طرف دیگر، مدل‌های بسیار ساده‌ای برای پیش‌بینی تولید ماده خشک ابداع شده‌اند که عمدتاً براساس مفهوم کارایی استفاده از تشعشع<sup>۱</sup> عمل می‌کنند (۲۹). کارایی استفاده از تشعشع، ماده خشک تولید به ازای هر واحد تشعشع دریافت شده یا جذب شده را نشان می‌دهد و واحد آن گرم بر مگاژول می‌باشد. پس از محاسبه نسبت تشعشع دریافت شده، میزان ماده خشک تولید شده روزانه با کمک معادله زیر محاسبه گردید (۲۹):

$$DBP=SRAD \times 0.5FINT \times RUE \times WSCFG$$

1. Radiation Use Efficiency

که در آن DBP ماده خشک تولیدی روزانه بر حسب گرم در مترمربع، SRAD کل تشعشع خورشیدی روزانه بر حسب مگاژول در مترمربع زمین در روز، ۰/۵ ضریب برای تبدیل کل تشعشع خورشیدی به تشعشع فعال فتوسنتزی، FINT کسر تشعشع رسیده که توسط جامعه گیاهی دریافت می‌شود، RUE کارایی استفاده از تشعشع بر حسب گرم بر مگاژول و WSCFG ضریب اصلاحی تولید ماده خشک روزانه برای تنش‌های کمبود یا زیاد بود آبی باشد. FINT از طریق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$FINT=1-\exp(-K \times LAI)$$

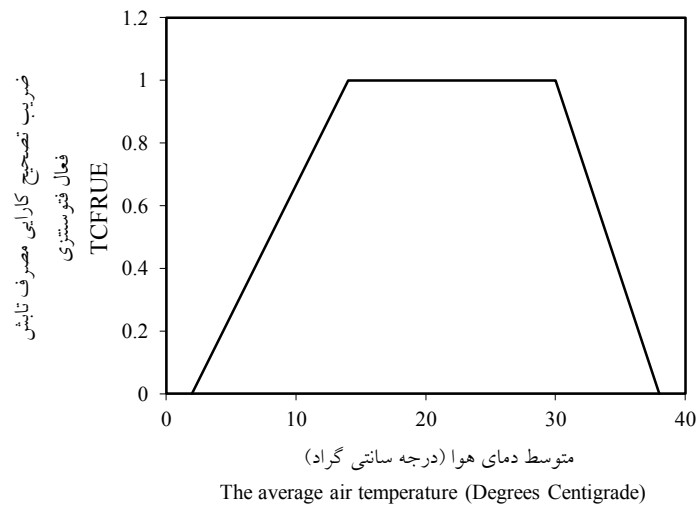
که در آن LAI میزان شاخص سطح برگ جامعه گیاهی و K ضریب خاموشی جامعه گیاهی می‌باشد. مقدار  $K_{PAR}$  برای باقلا بین ۰/۵۳ تا ۰/۸۵ گزارش شده است (۷). بر اساس نتایج کونفالون و همکاران (۲۰۱۰) مقدار  $K_{PAR}$  در مدل حاضر ۰/۸۱ استفاده گردید (۷). مقدار LAI با توجه به مدل EPIC محاسبه شد (۳۵). کارایی استفاده از تشعشع عبارت است شیب خطی است که ماده خشک تجمعی را به تشعشع دریافت شده تجمعی ارتباط می‌دهد. نشان می‌دهد که به ازای هر واحد تشعشع دریافت شده توسط جامعه گیاهی چه میزان ماده خشک توسط جامعه گیاهی تولید شده است. اگر چه کارایی استفاده از تشعشع تحت شرایط مطلوب رشد ثابت بوده ولی دماهای نامناسب می‌توانند موجب کاهش آن شوند (۳۰). با در دست داشتن دماهای کاردینال مربوط به تولید ماده خشک می‌توان کارایی استفاده از تشعشع را برای دماهای نامناسب اصلاح نمود. در مدل حاضر، با توجه به اینکه در مورد گیاه باقلا دماهای کاردینال مربوط به تولید ماده خشک یافت نشد از مقادیر مشابه گیاه نخود در شرایط استان گلستان استفاده شد. این مقادیر شامل دمای پایه، دمای مطلوب اولیه، دمای مطلوب ثانویه و دمای سقف به ترتیب ۲، ۱۴،۳۰ و ۳۸ درجه سلسیوس تخمین زده شدند (۲۷). کارایی استفاده از تشعشع می‌تواند تحت تاثیر سن گیاه نیز قرار گیرد. فرض بر این شده است که کارایی استفاده از تشعشع فقط در طول دوره پرشدن دانه‌ها می‌تواند تغییر کند. سلطانی (۲۰۰۹) بیان داشت که در برخی گیاهان زراعی روغنی در طول دوره پرشدن دانه فتوسنتز گیاه صرف ساخت ترکیبات روغنی می‌شود که ممکن است کارایی استفاده از تشعشع کاهش یابد (۲۷). همچنین ایشان اظهار داشتند که در برخی از گیاهان با شروع رشد دانه انتقال مجدد نیتروژن از برگ‌ها انجام می‌شود که در نتیجه کارایی استفاده از تشعشع کاهش می‌یابد. تغییر کارایی استفاده از تشعشع در طی دوره پرشدن دانه‌ها به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود:

DVRUE=1	اگر	$TT \leq TTBSG$
DVRUE=RRUE	اگر	$TT > TTBSG$

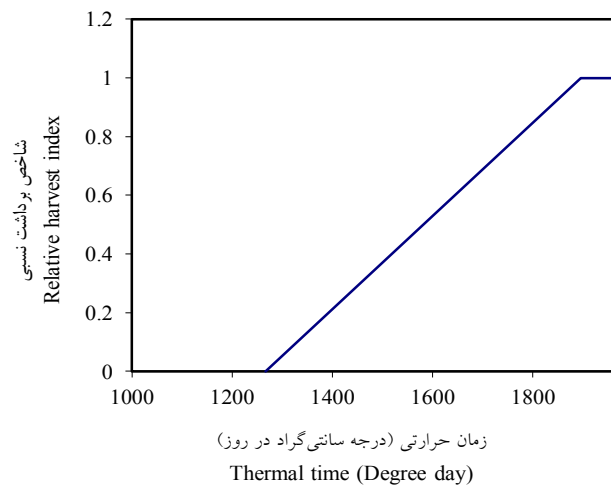
که در آن DVRUE ضریب اصلاحی کارایی استفاده از تشعشع برای سن گیاه، TT زمان حرارتی تجمعی، TTBSG زمان حرارتی از کاشت تا شروع پرشدن دانه‌ها و RRUE نسبت کارایی استفاده از تشعشع در بعد از شروع پرشدن دانه‌ها به قبل آن هستند. بنابراین در هر روز قبل از محاسبه میزان ماده خشک تولیدی کارایی استفاده از تشعشع برای سن گیاه و میانگین دمای روزانه اصلاح می‌شود:

$$RUE = IRUE \times DVRUE \times TCFRUE$$

که در آن IRUE مقدار کارایی استفاده از تشعشع در شرایط مطلوب رشد قبل از پرشدن دانه، RUE مقدار کارایی استفاده از تشعشع برای آن روز معین پس از انجام اصلاح برای شرایط دمای آن روز و سن گیاه و TCFRUE ضریب اصلاح کارایی استفاده از تشعشع برای دما می‌باشد (شکل ۲). سینکلر و ماکو (۱۹۹۹) در یک بررسی از RUE محصول (براساس تابش خورشیدی) گزارش کردند که برای باقلا این مقدار از ۱/۰۳ (۲۴)، ۱/۴۵ (۱۵)، و ۲/۰۴ (۹) گرم بر مگاژول متغیر می‌باشد (۲۵). این مقادیر به طور کلی بالاتر از دیگر حبوبات گزارش شده بود اما مشابه با مقدار حبوبات زمستانه بود. سینکلر و ماکو (۱۹۹۹) پیشنهاد کردند که RUE محاسبه شده بوسیله فاشیون و دنت (۱۹۸۲) اغراق آمیز می‌باشد زیرا آن براساس نمونه‌های بیوماس تنها ۳ گیاه بود (۲۵). شاخص برداشت (HI) از تقسیم وزن خشک دانه‌ها بر وزن خشک کل در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک تعیین می‌شود (۷) (شکل ۳). یک شیوه حمایت شده برای آنالیز تقسیم بیوماس به دانه افزایش خطی در شاخص برداشت در طول پر شدن دانه می‌باشد (۲۷)، به طوری که تقاضا برای اسیمیلات‌ها هر روز برای پر شدن دانه افزایش می‌یابد. بیندی و همکاران (۱۹۹۹) سازگاری روش شاخص برداشت را برای تعدادی از جنس‌های حبوبات و غلات مطالعه کردند و دریافتند که برای پیش‌بینی عملکرد شیوه مناسبی می‌باشد (۳). سلطانی و همکاران (۱۹۹۹) شاخص برداشت را ۰/۱ در روز برای ارقام نخود در ایران گزارش کرد (۲۹). بعضی از محققین پیشنهاد کردند که حد نهایی شاخص برداشت برای باقلا تقریباً ۵۰ درصد می‌باشد (۶، ۱۸). در این مدل شاخص برداشت روزانه ۰/۱۲ در روز تخمین زده شد (۳۶).



شکل ۲. واکنش ضریب تصحیح کارایی مصرف تابش فعال فتوسنتزی (TCFRUE) به دما در باقلا  
 Figure 2. Response of correction factor of radiation use efficiency versus daily temperature in faba bean



شکل ۳- واکنش تغییرات میزان شاخص برداشت در مقابل زمان حرارتی تجمعی از شروع تا پایان پر شدن دانه در باقلا  
 Figure 3. Response of the harvest index versus cumulative thermal time from beginning of seed growth to termination of seed growth

**سطح برگ:** پیش‌بینی شاخص سطح برگ برای تخمین میزان تشعشع دریافت شده و تولید ماده خشک مورد نیاز است (۲۸). چندین روش برای پیش‌بینی تغییرات سطح برگ ارائه شده است، که برخی از روش‌ها اساس فیزیولوژیک ندارد و تجربی است که این روش در مدل EPIC و ALMANAC به کار رفته است (۳۸). در این تحقیق محاسبات سطح برگ با روش EPIC انجام شد. با استفاده از این روش شاخص سطح برگ در هر روز در طی فصل رشد از کاشت تا برداشت با استفاده از معادله زیر پیش‌بینی می‌شود:

$$LAI = RLAI \times LAIMAX$$

که در آن LAI شاخص سطح برگ، RLAI شاخص سطح برگ نسبی و LAIMAX حداکثر شاخص سطح برگ می‌باشد. مقدار RLAI طی دو مرحله تخمین زده می‌شود. مرحله اول، مرحله گسترش سطح برگ است و در آن RLAI با کمک یک معادله سیگموئیدی به مرحله نمو نسبی (نرمالیزه شده) ارتباط داده می‌شود:

$$NDS = TT / TTHAR$$

که در آن TT زمان حرارتی تجمعی و TTHAR زمان حرارتی از کاشت تا برداشت می‌باشد. در مرحله دوم که مرحله پیری می‌باشد RLAI به صورت خطی از مرحله شروع پرشدن دانه کاهش یافته و در رسیدگی برداشت به صفر می‌رسد. مقدار RLAI در مجموع از معادلات زیر محاسبه می‌شود:

$$RLAI = NDS / (NDS + EXP(a + b \times NDS)) \text{ اگر } NDS < BLS$$

$$RLAI = BSGLAI \times ((1 - NDS) / (1 - BLS)) \text{ اگر } NDS \geq BLS$$

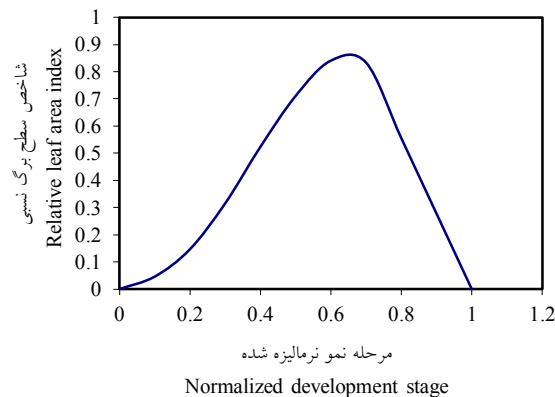
که در آن BLS مرحله نمو نرمالیزه شده است که در آن پیری برگ‌ها شروع می‌شود و BSGLAI مقدار شاخص سطح برگ واقعی می‌باشد. خود BLS از طریق معادله زیر حساب می‌شود:

$$BLS = TTBSG / TTHAR$$

که در آن TTBSG زمان حرارتی از کاشت تا شروع پرشدن دانه‌ها و TTHAR زمان حرارتی از کاشت تا برداشت می‌باشد. مقادیر a و b ضرایب معادله هستند و از طریق حل معادلات فوق دو نقطه به دست می‌آید. در این تحقیق بر طبق پژوهش سلطانی (۲۰۰۹) به ترتیب (۰/۱۵، ۰/۰۵) و (۰/۵۰، ۰/۹۵) در نظر گرفته شد (۲۷). این دو نقطه نشان‌دهنده شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نرمالیزه می‌باشد. LAIMAX یا حداکثر شاخص سطح برگ برای تراکم مورد نظر از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$LAIMAX = (PDEN / PDEN + EXP(a - b \times PDEN))$$

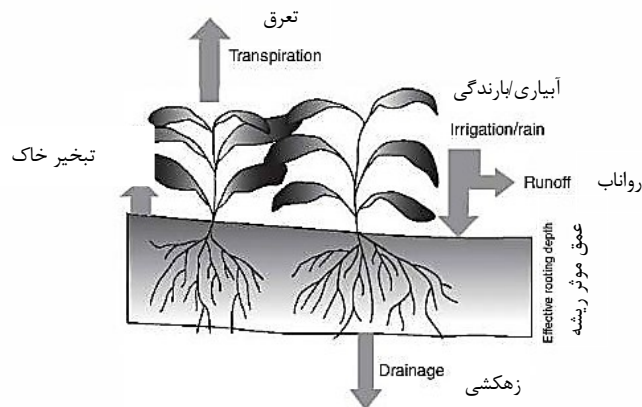
که در این معادله PDEN تراکم گیاه مورد نظر در مترمربع می‌باشد.  $a$  و  $b$  ضرایب معادله می‌باشند. در این مدل نقاط مورد نظر به ترتیب  $(0, 22/78)$  و  $(16, 0/62)$  و لحاظ گردید (۳۹). منظور از این دو نقطه حداکثر شاخص سطح برگ نسبی در مقابل تراکم بوته می‌باشد.



شکل ۴- تغییرات شاخص سطح برگ نسبی در مقابل مرحله نمو نسبی (نرمالیزه شده) باقلا

Figure 4. Changes in the relative leaf area index versus normalized development stage in faba bean

موازنه آب خاک: چنانچه پیش‌بینی رشد و عملکرد گیاهان تحت شرایط تنش خشکی یا تنش غرقابی مد نظر باشد، ناگزیر باید پیش‌بینی مقدار آب خاک و تغییرات آن در مدل‌سازی گیاهان لحاظ شود. در بررسی موازنه آب خاک مشخص خواهد شد که در هر روز از چه راه‌هایی و به چه میزانی آب وارد خاک شده و از چه راه‌هایی و به چه میزانی آب از خاک خارج گشته است (۲۸).



شکل ۵. موازنه آب خاک

Figure 5. Soil water balance

شکل (۵) راه‌های ورود و خروج آب در خاک را نشان می‌دهد. آب از طریق بارندگی و آبیاری وارد خاک شده و از طریق رواناب، زهشکی عمقی، تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه از خاک خارج می‌شود. برای موازنه آب خاک از فرمول زیر استفاده شد (۲۷):

$$SWC_i = SWC_{i-1} + ERAIN + IRGW - SEVP - TR - DRAIN$$

که در آن  $SWC_i$  کل مقدار آب در خاک در روز جاری،  $SWC_{i-1}$  کل مقدار آب خاک در روز قبل،  $ERAIN$  مقدار آب بارندگی که در خاک نفوذ کرده است،  $IRGW$  مقدار آب آبیاری که استفاده شده است،  $SEVP$  مقدار آب تبخیر شده از سطح خاک،  $TR$  مقدار آب تعرق یافته از گیاهانی که در خاک رشد می‌کنند،  $DRAIN$  مقدار آب زهکشی شده از خاک می‌باشد.  $ERAIN$  از اختلاف بارندگی روزانه و مقدار رواناب به دست می‌آید. بر اساس منابع مورد مطالعه برای کشت باقلا در منطقه استان گلستان بافت خاک رسی سیلتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بر همین اساس پارامترهای مربوط به موازنه آب خاک برای مدل حاضر بر اساس این نوع بافت خاک محاسبه گردید (جدول ۲).

## نتایج و بحث

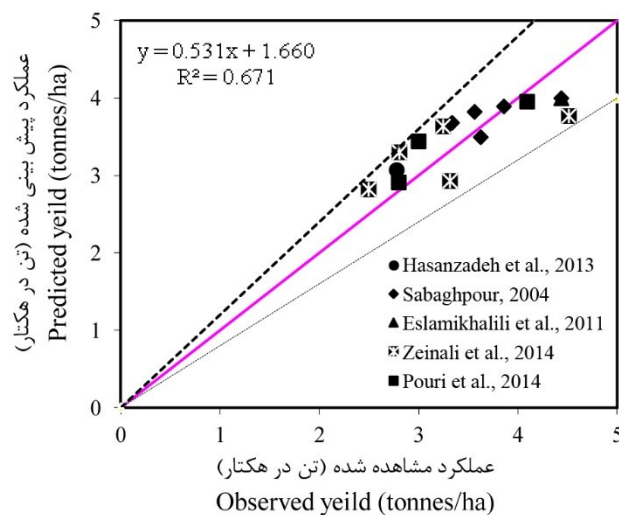
همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود عملکرد شبیه‌سازی شده بر اساس پارامترهای به‌دست آمده و عملکرد مشاهده شده با یکدیگر مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. با توجه به شکل همه نقاط در محدوده ۸۵٪ از خط ۱:۱ قرار دارند. بر این اساس دامنه تغییرات عملکرد مشاهده شده حدود ۲۵۰۰ تا ۴۵۲۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۳۴۲۲ کیلوگرم در هکتار بود، به طوری که عملکرد شبیه‌سازی شده بین ۲۸۲۰ تا ۳۹۵۰ کیلوگرم بر هکتار با میانگین ۳۴۷۸ حاصل شد. برای ارزیابی مدل و مقایسه آن با واقعیت از برخی آماره‌ها استفاده شد. این آماره‌ها مبتنی بر اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده و آماره‌ها مبتنی بر همبستگی آن‌ها است (۲۷). با توجه به شکل (۶) همه داده‌های عملکرد در دامنه ۱۵ درصد بالا و پایین خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند که این نشان دهنده کارایی خوب مدل می‌باشد. همچنین مقدار  $R^2$  (ضریب تبیین) برای مدل ۰/۶۷ حاصل شد که معمولاً باید بالای ۰/۶۰ باشد. جذر میانگین مربعات انحرافات (RMSD)، ۵۲۱ کیلوگرم در هکتار و ضریب تغییرات برابر ۳/۹٪ به دست آمد. ترابی و سلطانی (۲۰۱۳) عملکرد دانه ذرت هیبرید سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط اصفهان پیش بینی کردند (۳۵). عملکرد مشاهده شده در این مطالعه حدود ۱۱۳۷۰ تا ۱۵۷۷۰ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۱۳۱۳۰ کیلوگرم در هکتار بود؛ در حالی که دامنه تغییرات عملکرد پیش بینی شده



۱۲۴۴۰ تا ۱۵۴۴۰ كيلوگرم در هكتار با ميانگين ۱۳۳۶۰ كيلوگرم در هكتار بود. مقدار  $R^2$  براي مدل ۹۲٪ برآورد شد. همچنين ضريب تغييرات برابر ۴/۳٪ به دست آمد. در مدل ساده‌اي كه توسط سلطاني و همكاران (۲۰۰۵) بر روي رشد و عملکرد چغندر قند شبيه سازي كردند جذر ميانگين مربعات خطا ۱۱/۷ مگاگرم بر هكتار به دست آمد. همچنين مقدار  $R^2$  حدود ۶۲٪ گزارش شد (۳۱).

### نتيجه گيري كلي

در نهايت مي توان اظهار داشت كه مدل حاضر براي پيش بيني عملکرد گياه باقلا در شرايط متداول استان گلستان استفاده شود. بديهي است كه مدل‌ها زماني موثر واقع مي شوند كه با تحليل شرايط فيزيولوژيك و اكلوژيك و با آمايش‌ها و اندازه گيري‌هاي تجربي از سيستم به كار گرفته شوند.



شكل ۶- عملکرد شبيه سازي شده در مقابل عملکرد پيش بيني شده. خط توپر، خط ۱:۱ و خط نقطه چين بالا و پايين به ترتيب خطوط ۱:۱/۱۵ و ۱:۰/۸۵ هستند.

Figure 6. Simulated yield versus predicted yield. Continuous line is line 1:1 and upper and lower dashed lines are 1:1.15 and 1:0.85, respectively.

منابع

1. Ajam Norouzi, H., Soltani, A., Majidi, E., and Homaei, M. 2007. Modelling response of emergence to temperature in faba bean under field condition. *J. Agric. Sci. Nat. Res.* 14(4):100-111. (In Persian)
2. Atkinson, D., and Porter, J.R. 1996. Temperature, plant development and crops yields. *Trends Plant Sci.* 1(4): 119-124.
3. Bindi, M., Sinclair, T.R., and Harrison, J. 1999. Analysis of seed growth by linear increase in harvest index. *Crop Sci.* 39(2): 486-493.
4. Boote, K.G., Jones, J.W., and Pickering, N.B. 1996. Potential uses and limitation of crop models. *Agro. J.* 88(5): 704-716.
5. Chauhan, Y.S., Johansen, C., Moon, J.K., Lee, Y.H., and Lee, S.H. 2002. Photoperiod responses of extra-short-duration pigeon pea lines developed at different latitudes. *Crop Sci.* 42(4): 1139-1146.
6. Coelho, J.C., and Pinto, P.A. 1989. Plant density effects on growth and development of winter faba bean (*Vicia faba* var. minor). *Fabis News-letter J.* 25: 26-30.
7. Confalon, A., Lizaso, J., Ruiz-nogueira, B., Lopez-cedron, F.X., and Sau, F. 2010. Growth, par use efficiency, and yield components of field-grown vicia faba under different temperature and photoperiod regimes. *Field Crop Res.* 115(2):140-148.
8. Eslami khalili, F., Pirdashti, H., and Motaghian, A. 2011. Evaluation of barley (*Hordeum vulgare* L.) and faba bean (*Vicia faba* L.) yield in different density and mixture intercropping via competition indices. *J. Agro ecol.* 3(1): 94-105.
9. Fasheun, A., and Dennett, M.D. 1982. Interception of radiation and growth efficiency in field beans (*Vicia faba* L.). *Agric. Meteorol.* 26(3): 221-229.
10. Hammer, G.L., Goyne, P.J., and Woodruff, D.R. 1982. Phenology of sunflower cultivars. III. Models for prediction in field environments. *Aust. J. Agri. Res.* 33(2): 263-274.
11. Hashemabadi, D., and Sedaghatoor, S.H. 2006. Study of mutual effect of the sowing date and plant density on yield and yield components of winter *Vicia faba* L. *J. Agric. Sci.* 12(1):135-141. (In Persian)
12. Hassanzadeh, A., Rahemi Karizaki, A., Nakhzari Moghadam, A., and Biabani, A. 2013. The combined effect of terminal heat the end of growth season and competition between plants on phenology, yield and components yield in faba bean. *EJCP.* 6(4):151-163. (In Persian)
13. Iannucci, A., Fonzo, N.D., and Martiniello, P. 2000. Temperature requirements for seed germination in four annual clovers grown under tow irrigation treatments. *Seed Sci. Technol.* 28(1): 59-66.
14. Loss, S.P., Perry, M.W., and Anderson, W.K. 1990. Flowering times of wheat's in South-Western Australia: A modeling approach. *Aust. J. Agric. Res.* 41(2): 213- 223.
15. Madeira, A.C., Clark, J.A., and Rossall, S. 1988. Growth, light interception and disease in field bean (*Vicia faba*): the effect of late infection by *Ascochyta fabae*. *Ann. Appl. Biol.* 112: 585-595.
16. Majnoon Hosseini, N. 2008. Legumes in Iran. *Jihad Daneshgahi. Press*, 148p. (In Persian)

17. Perry, M.W., Siddique, K.H.M., and Wallace, J.F. 1987. Predicting phenological development of Australian wheat's. *Aust. J. Agric. Res.* 38: 809-819.
18. Pilbeam, C.J., Duc, G., and Hebblethwaite, P.D. 1990. Effects of plant population density on spring-sown field beans (*Vicia faba*) with different growth habits. *J. Agri. Sci.* 114(1): 19-33.
19. Puri, K., Zeinali, E. and Golchin, E. 2013. Investigation of effect of row-spacing on the accumulation and distribution of dry matter of faba bean. *Iran. J. Field Crop. Res.* 11(3): 524-531. (In Persian)
20. 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. 104p.
21. 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
22. Ridao, E., Oliveira, C.F., Conde, J.R., and Mínguez, M.I. 1996. Radiation interception and use, and spectral reflectance of contrasting canopies of autumn sown faba beans and semi-leafless peas. *Agric. For. Meteorol.* 79(3): 183-203.
23. Sabaghpour, S.H. 2004. Determination of suitable sowing date for *faba bean* c.v. Barakat for double cropping of cotton and faba bean. *Iran. J. Crop Sci.* 6(3):248-258. (In Persian)
24. Silim, S.N., and Saxena, M.C. 1993. Yield and water use efficiency of faba bean sown at two row spacings and seed densities. *Aust. J. Exp. Agric.* 29(2): 173–181.
25. Sinclair, T.R., and Muchow, R.C. 1999. Radiation use efficiency. *Adv. Agron.* 65: 215-265.
26. Sinclair, T.R., and Seligman, G. 1996. Crop modeling: from infancy to maturity. *Agron J.* 88(5): 698-704.
27. Soltani, A. 2009. *Mathematical Modeling in Field Crops*. Mashhad Univ. Press, 175p. (In Persian)
28. Soltani, A., and Faraji, A. 2006. *Soil water and plant relationships*. Mashhad Univ. Press, 246p. (In Persian)
29. Soltani, A., Ghassemi-Golezani, K., Rahimzadeh-Khooie, F., and Moghaddam, M. 1999. A simple model for chickpea growth and yield. *J. Field Crops Res.* 62(2): 213-224.
30. Soltani, A., Gholipour, M., and Ghassemi-Golezani, K. 2007. Analysis of temperature and atmospheric CO<sub>2</sub> effects on radiation use efficiency in chickpea (*Cicer arietium* L.). *Plant Sci.* 2:1. 89-95.
31. Soltani, A., Gholipour, M., and Hajizadeh, H. 2005. SBEET: A simple model to simulate growth and yield of sugar beet. *Agri. Sci. Technol.* 19:2. 11-26. (In Persian)
32. Soltani, A., Roberston, M.J., Mohammad-Nejad, Y., and Rahemi-Karizaki, A. 2006. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crops Res.* 99:1. 1-33.
33. Summerfield, R.J., Lawn, R.J., Qi, A., Ellis, R.H., Roberts, E.H., and Chay, P. 1993. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops: II. Soybean (*Glycine max* L.). *Aust. J. Exp. Agric.* 29(3): 253-289.

34. Torabi, B. 2004. Prediction of phenological development in chickpea. MSc. Thesis, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Gorgan, Gorgan, Iran.
35. Torabi, B., and Soltan, A. 2013. A simple model for simulating corn S. C. 704 yield. JCPP. 3(7):47-58. (In Persian)
36. 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. Aust. J. Agri. Res. 53(2): 227-237.
37. 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. Eur. J. Agro. 18:3. 201-234.
38. Williams, J.R., Jonse, C.A., Kiniry, J.R., and Spanel, D.A. 1989. The EPIC crop growth model. Transactions of the ASAE. 32(2): 479-510.
39. Zeinali, E., Soltani, A., Toorani, M., and Khadempir, M. 2014. Allometric relationships between leaf area and vegetative characteristics in faba bean. J. Plant Prod. 20(4):1-21. (In Persian)