

پیش‌بینی مرحله‌های رشد و عملکرد ذرت در همدان

امیر دادرسی^{۱*} و بنیامین ترابی^۲

۱. دانشجوی دکتری گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان

۲. استادیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۷/۲۵ - تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۷)

چکیده

به منظور مدل‌سازی مراحل رشد و عملکرد ذرت بر پایه آمار هواشناسی استان همدان (دمای کمینه، دمای بیشینه، میزان تابش و میزان بارندگی) با استفاده از زیر مدل‌های مربوط به پدیدشناسی (فتولوژی)، تولید و توزیع ماده خشک، تغییرپذیری‌های سطح برگ در گیاه ذرت بررسی در دانشکده کشاورزی دانشگاه ولیعصر (عج) رفسنجان در سال بهار ۱۳۹۴ صورت گرفت. با استفاده از مدل یادشده تغییرپذیری روزانه مربوط به پدیدشناسی، ماده خشک کل، سطح برگ محاسبه و سپس عملکرد پیش‌بینی شد. یکی از معیارهای ارزیابی مدل، مقایسه ضریب رگرسیون خطی بین عملکرد مشاهده‌شده و پیش‌بینی شده ($a=0.93 \pm 0.23$ و $b=0.29 \pm 2.11$) با ضریب‌های خط ۱:۱ که (۱ و ۰) است. در زمینه ضریب تغییرپذیری مربوط به عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده ($CV=4/13$) دقت مدل بسیار بالا بوده به گونه‌ای که در آزمایش‌های مزرعه‌ای حد مجاز برای ضریب تغییرپذیری ۲۰ تا ۲۵ است. میزان R^2 برای عملکرد دانه برابر با ۰/۶۹ بوده که این امر بیانگر این است که به احتمال ۶۹ درصد داده‌های پیش‌بینی‌شده با داده‌های مشاهده‌شده همخوانی دارند. از دیگر آماره‌هایی که برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌شود، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) است که در مورد عملکرد دانه ۰/۳۶ بود که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی میزان عملکرد است. نتایج این بررسی نشان می‌دهد که دامنه تغییرپذیری عملکرد دانه ذرت برای داده‌های مشاهده‌شده بین ۸/۵۴ تن تا ۹/۹۹ تن در هکتار و میانگین داده‌ها ۹/۰۹ تن بود و برای داده‌های پیش‌بینی‌شده دامنه تغییرپذیری عملکرد بین ۸/۰۲ تا ۹/۲۵ تن و میانگین آن‌ها ۸/۷۵ تن در هکتار بود.

واژه‌های کلیدی: پدیدشناسی، ذرت، عملکرد دانه، مدل ساده.

Predict the growth and yield of corn in Hamedan

Amir Dadrasi^{1*} and Benjamin Torabi²

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy, Agriculture College, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Iran

2. Assistant of Professor, Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

(Received: Oct. 17, 2015 - Accepted: Feb. 16, 2016)

ABSTRACT

In order to modeling of growth stages and yield of corn according to Hamedan province meteorological data (minimum and maximum temperature, radiation and rainfall) By using the sub models of phenology, production and distribution of dry matter and leaf area changes in maize studies was conducted at the Faculty of Agriculture, University of Vali-e-Asr Rafsanjan in spring 2015. Daily changes of phenology, total dry matter and leaf area was calculated using the model and the yield was predicted. One of the criteria to evaluation of a model is Comparison between coefficients of linear regression of observed and predicted yield ($b=0.29 \pm 2.11$ and $a=0.93 \pm 0.23$) and coefficients of line 1:1 (1, 0). Accuracy of the model related to coefficient of variations of predicted and observed seed yield ($CV=4.13$) was very high so that in field experiments coefficient of variations limit is 20 to 25. R^2 quantity of seed yield was 0.69; showing that the probability for coordination of predicted and observed data is 69 percent. The Root mean square error is the other statistics which is used to evaluation of model accuracy. The Root mean square error of seed yield was 0.36, which is evidence of accuracy of model for yield prediction. domain variation for observed and predicted data were 8.54-9.99 tones and 8.02-9.25 tons per hectare respectively and the means were 9.09 and 8.75 tones per hectare respectively.

Keywords: Corn, grain yield, modeling, phenology.

مقدمه

انجام آزمایش‌های مزرعه‌ای مربوط به پاسخ گیاه به شرایط مختلف محیطی پرزحمت بوده و هزینه‌های زیادی دارد. با توجه به این محدودیت‌ها، مدل‌های گیاهی برای بررسی و تعیین خط‌مشی در برنامه‌ریزی برآورد میزان عملکرد و کاربرد منابع مختلف ابزار سودمندی است (Geerts & Raes, 2009). مدل‌ها از چندین فراسنجه‌های گیاهی و محیطی برای شبیه‌سازی رشد گیاه و تولید محصول استفاده می‌کنند و باید پیش از استفاده واسنجی و ارزیابی از مدل صورت گیرد (Hsiao et al., 2009). در طول دو دهه گذشته مدل‌های چندی به‌منظور استفاده بهینه از منابع موجود در مقیاس‌های مختلف توسعه‌یافته است که برخی از اطلاعات مورد نیاز آن‌ها از مدل‌های شبیه‌سازی‌شده رشد گیاهی استخراج شده است (Farhadi Bansouleh, 2009). تغییر زمانی و مکانی در منابع بیوفیزیکی باعث تغییر در تولید گیاهی و نهاده‌های مورد نیاز آن می‌شود. مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه و تولید محصول ابزاری هستند که می‌توان برای برآورد میزان عملکرد، میزان آب و عنصرهای مورد نیاز گیاه در شرایط مختلف به کار گرفته شوند (Van Ittersum et al., 2003). این مدل‌ها تأثیر کمی منابع بیوفیزیکی مانند خاک و ویژگی‌های آب و هوایی، ویژگی‌های گیاهی و عامل‌های مدیریتی را روی عملکرد محصول و میزان آب مورد نیاز را تجزیه و تحلیل می‌کند (Richter & Semenov, 2005). از برخی مدل‌ها می‌توان در بهبود مدیریت رشد گیاهان زراعی برای پیش‌بینی تاریخ‌های احتمالی برداشت یا پیش‌بینی عملکرد نهایی، یا به‌صورت فعال‌تر، برای پیش‌بینی مطمئن زمان رخداد مرحله‌های پدیدشناختی (فنولوژیک) به‌گونه‌ای که کود، تنظیم‌کننده‌های رشد، نیتروژن، علف‌کش‌ها و کنترل بیماری‌ها در مناسب‌ترین زمان به کار گرفته شوند، استفاده کرد (Soltani et al., 1999). بسیاری از مدل‌سازان از مدل‌های خود به‌عنوان وسیله‌ای برای ارزیابی خطرهای موجود در تولید استفاده کرده‌اند. این امر با بررسی واکنش کارایی مدل به آمار دراز مدت اقلیمی یک منطقه صورت می‌گیرد و در نتیجه آن

بهترین تاریخ کاشت، تراکم، فاصله ردیف، رقم‌های زراعی مناسب و غیره تعیین می‌شود. همچنین از مدل‌ها می‌توان در بررسی کمی اثر ویژگی‌های زراعی روی رشد و عملکرد گیاهان در محیط‌های خاص استفاده کرد. در مورد مسائل به‌نژادی گیاهان زراعی همچون دورگ‌گیری، دیررسی و زودرسی، بهبود دانه بستن، ریخت‌شناختی (مورفولوژی) گل‌ها، افزایش رشد تک تک دانه‌ها و زمان گلدهی می‌توان از مدل‌ها استفاده کرد. تعیین ظرفیت عملکرد منطقه‌ای، کمک به مدیریت آبیاری و ارزیابی تأثیر تغییرپذیری اقلیم از کاربردهای دیگر مدل‌ها هستند (Perry et al., 1987). Sinclair & Muchow (1999) مدلی برای سوبا طراحی کردند، از این مدل به‌عنوان یک چهارچوب برای طراحی مدل‌های دیگر گیاهان زراعی مانند گندم (Sinclair & Arnir, 1991)، ذرت (Sinclair & Muchow, 1999; Turabi & Soltani, 2013)، سورگوم (Hammer & Muchow, 1994)، بادام‌زمینی (Hammer et al., 1995) و نخود (Soltani et al., 1999) استفاده شد. هدف از این بررسی، (۱) پیش‌بینی مرحله‌های پدیدشناختی و عملکرد گیاه ذرت با استفاده از یک مدل ساده و (۲) ارزیابی خروجی‌های مربوط به مرحله‌های پدیدشناختی و عملکرد با استفاده از مجموعه‌ای از داده‌های مستقل بود.

مواد و روش‌ها

توصیف مدل

این مدل با الگوبرداری از مدل (Soltani et al., 2005) صورت گرفت که در واقع برای محاسبه رشد و نمو، عملکرد و موازنه آب و خاک کاربرد دارد. برای این منظور، نیاز به مجموعه‌ای از رابطه‌هاست تا بتوان شبیه‌سازی مهم‌ترین فرآیندها را محاسبه کرد. به‌طوری‌که مرحله‌های پدیدشناختی گیاه ذرت بر پایه بررسی‌های مزرعه‌ای صورت‌گرفته توسط دانشجویان دانشگاه بوعلی سینای همدان که در سال ۱۳۹۳ روی ذرت رقم ۶۰۰ در دو تاریخ کاشت ۱۴ و ۱۲ خردادماه به‌صورت کامل و دقیق اندازه‌گیری شده بود محاسبه شد و در مورد دیگر منابع مورد استفاده که از آن‌ها برای برآورد دقیق‌تر درجه روز رشد مورد نیاز برای

برگ، آغاز پر شدن دانه، پایان پر شدن دانه و رسیدگی در منطقه مورد بررسی و در مدل استفاده شد. از آنجایی که تحقیقات صورت‌گرفته محدود بود و امکان استفاده از تحقیقات گسترده را برای برآورد مناسب‌ترین درجهٔ روز رشد برای رخدادهای هر یک از مرحله‌ها نداشتیم از داده‌های موجود به‌صورت متقاطع استفاده شد و روز پس از کاشت با استفاده از برنامهٔ شبیه‌سازی پدیدشناختی به درجهٔ روز رشد تبدیل شد به‌گونه‌ای که از بین مشاهده‌هایی که در دسترس بود در هر یک از مرحله‌های مقایسه، یکی به‌عنوان مشاهده‌شده و مابقی به‌عنوان معیار سنجش (درجهٔ روز رشد برای هر مرحله) در نظر گرفته شد. عامل‌های محیطی چندی در زمان رخداد مرحله‌های نموی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند که مهم‌ترین آن‌ها دما، دورهٔ نوری (فتوپریود)، خشکی و کمبود عنصرهای غذایی هستند. از میان این عوامل نقش دما و دورهٔ نوری بسیار مهم است. با توجه به تأثیر به نسبت پایین خشکی و عنصرهای غذایی و ثابت و یکسان بودن تأثیر دورهٔ نوری در یک محیط معین، به‌طور گسترده از مفهوم درجهٔ روز رشد یا زمان گرمایی و یا واحد گرمایی برای کمی‌سازی و پیش‌بینی رخداد مرحله‌های نموی گیاهان زراعی استفاده می‌شود. در این روش به‌طور ساده دمای پایه از دمای میانگین روزانه کسر می‌شود و میزان دمای مؤثر در پیشبرد نمو یا درجهٔ روز رشد روزانه یا زمان گرمایی روزانه محاسبه می‌شود. با جمع زدن این مقادیر روزانه مجموع درجهٔ روز رشد که گیاه نیاز دارد از هر مرحله به مرحلهٔ بعدی برسد به‌دست می‌آید.

رسیدن به هرکدام از مرحله‌های پدیدشناختی مورد بررسی، عملکرد دانه، شاخص سطح برگ و کارایی مصرف نور در شرایط بهینه استفاده شده است می‌توان به نتایج گزارش‌شده توسط Sphere *et al.* (1997)، Ramezani *et al.* (2008)، Dadrasi *et al.* (2012)، Sphere Karimi *et al.* (2010)، Shyrkhany & Chokan (2005)، Kordbahmany *et al.* (2009)، Otegui *et al.* (1995) و Spehri *et al.* (2012) اشاره کرد. لذا مدل برای اجرا نیاز به ورودی‌هایی دارد که در جدول ۱ اشاره شده است و همهٔ فراسنجه‌های ورودی مورد نیاز مدل از پژوهش‌های مختلف گردآوری شده است (جدول ۲).

نمو پدیدشناختی

منظور از مدل‌سازی نمو پدیدشناختی پیش‌بینی رخداد مرحله‌های نموی گیاه مانند سبز شدن، گلدهی یا رسیدگی است. پیش‌بینی نمو پدیدشناختی یا مرحله‌های نموی گیاه در مدل‌سازی اهمیت زیادی دارد، چون تولید و توزیع مادهٔ خشک در مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی تا حدود زیادی تحت تأثیر زمان رخداد مرحله‌های پدیدشناختی است (Soltani *et al.*, 2006). درزمینهٔ چگونگی پیش‌بینی مرحله‌های پدیدشناختی رشد ذرت می‌بایستی بر پایهٔ تحقیقات صورت گرفته در منطقهٔ مورد نظر (همدان) مرحله‌های پدیدشناختی زیر پیش‌بینی و بررسی شود و با استفاده از تحقیقاتی که درزمینهٔ بررسی مرحله‌های پدیدشناختی ذرت (رقم میان‌رس) صورت گرفته بود درجهٔ روز رشد مورد نیاز برای سبز شدن، پایان رشد

جدول ۱. فراسنجه‌های مورد نیاز برای مدل ذرت
Table 1. The parameter required for corn model

	Parameter	Unit
Weather data and climate	The maximum daily temperature	Degrees Celsius
	The minimum daily temperature	Degrees Celsius
	Daily solar radiation	M J per square meter per day
	Daily rainfall	milimeter
Characteristics of soil	Albedo	Don't have
	Drainage factor	MmMm
	The volume fraction Moisture in the wilting point	CmCm
	The volume fraction of moisture at field capacity	CmCm
	The volume fraction of moisture saturation point	CmCm
	Number soil curve	Don't have
Agricultural management	Date cultivate	Day of first January
	Density	Plants per square meter
	Soil moisture at planting time	
	Fraction transpiration of water for irrigation	Don't have

(FINT^۶، بدون واحد) و کارایی مصرف نور (RUE^۷، گرم بر مگاژول) محاسبه می‌شود:

$$DBP = SRAD \times 0.5 \text{ FINT} \times RUE \quad (۲)$$

میزان FINT خود به شاخص سطح برگ (LAI)^۸ و ضریب خاموشی (K)^۹ بستگی دارد که بر پایه قانون بیر (Gholipour & Soltani, 2005) به دست می‌آید:

$$\text{FINT} = 1 - \text{EXP}(-K \times \text{LAI}) \quad (۳)$$

میزان KPAR برای ذرت بین ۰/۶۵-۰/۶۰ گزارش شده است (Penning de Vries, 1975; Jones *et al.*, 2003; Keating *et al.*, 2003).

در یک جامعه گیاهی بسته به آرایش کاشت و ژنوتیپ گیاه میزان ضریب خاموشی می‌تواند متغیر باشد هرچه برگ‌ها عمودی‌تر باشند و یا تراکم کاشت کمتر باشد این میزان کمتر خواهد بود (Saeki, 1960). این مسئله اهمیت عضو متوقف‌کننده نور را بیشتر نشان می‌دهد. اهمیت زیاد اندازه K برای گیاهان اصلاح‌شده با سطح برگ کم در بوته و ارتفاع کمتر، در آزمایش‌های Siddique *et al.* (1989) نیز ثابت شده است و میزان KPAR در این آزمایش بر پایه تراکم انتخاب، و ۰/۶ مد نظر قرار گرفت. میزان LAI با توجه به مدل EPIC^{۱۱} محاسبه شد (Soltani, 2009a).

اگرچه کارایی استفاده از تشعشع در شرایط بهینه رشد ثابت بوده ولی دماهای نامناسب می‌تواند موجب کاهش آن شوند (Soltani & Hoogenboom, 2007). با در دست داشتن دماهای مهم (کاردینال) مربوط به تولید ماده خشک می‌توان میزان کارایی استفاده از تشعشع را برای دماهای نامناسب نیز اصلاح کرد.

$$\text{TCFRUE}=0 \quad (۴)$$

$$\text{if } \text{TMP} \leq \text{TBRUE} \text{ or } \text{TMP} \geq \text{TCRUE}^{11}$$

$$\text{TCFRUE} = (\text{TMP} - \text{TBRUE}) / (\text{TP1RUE} - \text{TBRUE})$$

$$\text{if } \text{TBRUE} < \text{TMP} < \text{TP1RUE}$$

$$\text{TCFRUE} = (\text{TCRUE} - \text{TMP}) / (\text{TCRUE} - \text{TP2RUE})$$

$$\text{if } \text{TP2RUE} < \text{TMP} < \text{TCRUE}$$

$$\text{TCFRUE} = 1$$

$$\text{if } \text{TP1RUE} \leq \text{TMP} \leq \text{TP2RUE}$$

که در این تحقیق درجه روز رشد تجمعی نیز بر پایه رابطه زیر محاسبه شده است (رابطه ۱).

(۱) رابطه درجه روز رشد تجمعی

$$\text{GDD}^1 = \sum ((\text{Tmax} + \text{Tmin}) / 2) - \text{Tb}$$

$$\text{If } T < \text{Tb} \quad \text{GDD} = 0$$

$$\text{If } \text{Tb} < T < \text{To} \quad \text{GDD} = T - \text{Tb}$$

$$\text{If } T \geq \text{To} \quad \text{GDD} = \text{To} - \text{Tb}$$

که در آن Tmax^۳، Tmin^۳، T، Tb و To به ترتیب بیشترین دمای روزانه، کمترین دمای روزانه، میانگین دمای روزانه، دمای پایه و دمای مطلوب بر حسب درجه سلسیوس هستند، که GDD برای مرحله‌های مختلف نمو به صورت تجمعی بیان شد. در این بررسی برای پیش‌بینی مدت‌زمان از کاشت تا مرحله‌های مختلف نموی با استفاده از رابطه ۱، از داده‌های مربوط به بررسی‌های صورت‌گرفته در استان همدان روی رقم میان‌رس ذرت به صورت متقاطع از ده گزارش متفاوت استفاده شد. که GDD برای مرحله‌های نموی مورد پیش‌بینی از کاشت تا سبز شدن، آغاز رشد برگ، آغاز پر شدن دانه، پایان پر شدن دانه و رسیدن فیزیولوژیکی به ترتیب ۵۶/۳، ۷۳۱/۲۳، ۹۳۴/۹۷، ۱۲۷۸/۱۲ و ۱۴۲۱/۴۴ درجه سلسیوس در روز بودند.

تولید و توزیع ماده خشک

شبیه‌سازی تولید ماده خشک به احتمال بخش مرکزی هر مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی است که خود تحت تأثیر مدل‌های نمو پدیدشناختی و تغییرپذیری‌های سطح برگ نیز قرار می‌گیرد. شبیه‌سازی توزیع ماده خشک نیز اهمیت دارد چون نتیجه توزیع ماده خشک، میزان عملکرد دانه را مشخص می‌کند. تولید روزانه زیست‌توده (DBP)^۴ بر حسب گرم در مترمربع در روز به صورت حاصل ضرب کل تشعشعات خورشیدی رسیده (SRAD)^۵، مگاژول در مترمربع در روز، کسری از تشعشع خورشیدی که توسط گیاه دریافت می‌شود

6. Fraction Intercepted Radiation
7. Radiation Use Efficiency
8. Leaf Area Index
9. Extinction coefficient for photosynthetically active
10. Erosion-Productivity Impact Calculator
11. Ceiling temperature for dry matter production

1. Growth Degree Day
2. Maximum temperature
3. Minimum temperature
4. Daily biomass production
5. Solar Radiation

جدول ۲. نام، واحد اندازه‌گیری، میزان برآورد و منبع برآورد فراسنجه‌های ورودی در مدل ذرت

Resource estimates	Estimate	Unit	Parameter
Chokan and Shyrkhany, 2010	10	Degrees Celsius	Base Temperature
Chokan and Shyrkhany, 2010	30	Degrees Celsius	Optimum temperature for growth
Willson <i>et al.</i> , 1995	8	Degrees Celsius	Base temperature radiation use efficiency
Willson <i>et al.</i> , 1995	20	Degrees Celsius	Optimum temperature lower radiation use efficiency
Willson <i>et al.</i> , 1995	40	Degrees Celsius	Optimum temperature upper radiation use efficiency
Willson <i>et al.</i> , 1995	50	Degrees Celsius	The temperature ceiling for radiation use efficiency
Otegui <i>et al.</i> , 1995	4.14	G/ MJ	Photosynthetically active radiation use efficiency in optimal conditions before filling grain
Otegui <i>et al.</i> , 1995	3.39	G/ MJ	Photosynthetically active radiation use efficiency in favorable conditions during the grain filling period
Verdopdt <i>et al.</i> , 2002	0.6	-	Extinction coefficient for photosynthetic active radiation
Muchow, 1990	0.015	Gram per day	Daily harvest index
Akbari, 1991	(5, 5.7)	Plants per square meter	Point 1 on the curve relative leaf area index in versus of density
Akbari, 1991	(0.7, 8)	Plants per square meter	Point 2 on the curve relative leaf area index in versus of density
Soltani, 2009a	(0.15, 0.05)	-	Point 1 on the curve relative leaf area index in versus of Normalized growth stage
Soltani <i>et al.</i> , 2005	(0.50, 0.95)	-	Point 2 on the curve relative leaf area index in versus of Normalized growth stage
Kordbahmany <i>et al.</i> , 2009	5.8	-	The maximum leaf area index in the area
Muchow & Sinclair. 1991	0.35	-	Fraction of available water at the beginning of the decline in production of dry matter
Soltani, 2009b	0.25	-	Fraction of available water at the beginning reduction leaf area
Soltani, 2009b	0.5	-	Light extinction coefficient in the calculation of evaporation and transpiration
Soltani, 2009b	0.23	-	Plant albedo factor
Sinclair & Muchow. 1999	1000	Millimeter	The effective depth of water extracted from soil

با توجه به رابطه زیر، کارایی مصرف تابش فعال نورساختی (فتوسنتزی) در شرایط نامطلوب دمایی تصحیح می‌شود.

$$RUE = IRUE1 \times DVRUE \times TCFRUE \quad (5)$$

که در آن RUE کارایی مصرف تابش فعال نورساختی در شرایط مختلف دمایی، IRUE1 کارایی مصرف تابش فعال نورساختی در طول دوره رشد رویشی در شرایط بهینه دمایی^۶، DVRUE ضریب کارایی مصرف تابش فعال نورساختی است و میزان آن پیش از پر شدن دانه برابر ۱ و پس از پر شدن دانه برابر^۷RRUE است.

عملکرد دانه به‌عنوان تابعی از تجمع ماده خشک و افزایش خطی شاخص برداشت روزانه (DHI)^۸ توصیف شد (Zarei *et al.*, 2011) که در این مدل شاخص برداشت روزانه برابر ۰/۰۱۵ گرم در روز برآورد شد (جدول ۲). از آنجایی که شاخص برداشت تا زمانی انجام می‌گیرد که بیشترین وزن دانه به دست آید و پس از آن

در رابطه بالا TCFRUE ضریب اصلاح کارایی استفاده از تشعشع برای دما^۱، TMP میانگین دمای روزانه^۲، TBRUE دمای پایه برای تولید ماده خشک^۳، TP1RUE حد تحتانی دمای مطلوب برای تولید ماده خشک^۴، TP2RUE حد فوقانی دمای مطلوب برای تولید ماده خشک^۵، TCRUE دمای سقف برای تولید ماده خشک هستند. بر پایه رابطه ۴ در دماهای بین مطلوب تحتانی و فوقانی کارایی استفاده از تشعشع در بیشینه خود است و با کاهش دما از دمای مطلوب تحتانی به سوی دمای پایه و با افزایش دما از دمای مطلوب فوقانی به سمت دمای سقف به‌طور خطی کاهش یافته و در دمای پایه و دمای سقف به صفر می‌رسد.

6. Radiation use efficiency under optimal growth conditions
7. Ratio Radiation Use Efficiency
8. Daily Harvest Index

1. A correction factor of radiation use efficiency for daily
2. Average daily temperature
3. Base temperature for dry matter production
4. Lower optimum temperature for dry matter production
5. Upper optimum temperature for dry matter production

همزمان رابطه بالا برای آن دو نقطه به دست می‌آید. میزان D1 و D2 در این بررسی بنابر پژوهش Soltani (2009b) به ترتیب (۰/۱۵، ۰/۰۵) و (۰/۹۵، ۰/۵۰) در نظر گرفته شد (جدول ۲). D1 نشان می‌دهد که پس از طی شدن ۱۵ درصد زمان گرمایی از کاشت تا برداشت، LAI به ۵ درصد بیشینه خود می‌رسد و D2 برابر است با هنگامی که ۵۰ درصد زمان گرمایی سپری شود LAI به ۹۵ درصد بیشینه خود برسد.

بر پایه رابطه ۹ LAI_{max} بیشترین شاخص سطح برگ برای تراکم مورد نظر و RLAI نسبت LAI موجود به بیشینه LAI قابل حصول توسط محصول است. که LAI_{max} با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$LAI_{max} = \frac{((PDEN / PDEN + EXP (A1 - B1 \times PDEN))}{P1} \quad (A)$$

در این رابطه، P1 تراکم گیاه ذرت در مترمربع است که به صورت یک ورودی باید به مدل داده شود. A1 و B1 ضرایب رابطه هستند که با در دست بودن دو نقطه P1 و P2 و از راه حل همزمان رابطه بالا برای آن دو نقطه به دست می‌آید. در این مدل میزان P1 (۰/۷، ۵/۵) و میزان P2 (۰/۸، ۷) در نظر گرفته شدند (جدول ۲).

موازنه آب

موازنه آب خاک یا بیلان آب خاک، میزان آب موجود در خاک در هر روز معین را مشخص می‌کند. در بررسی موازنه آب خاک مشخص خواهد شد که در هر روز از چه راههایی و به چه میزان آب وارد خاک شده است (Soltani, 2009b). آب از راه بارندگی و آبیاری وارد خاک شده و از راه راواناب، زهکشی عمقی، تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه از خاک خارج می‌شود. میزان آب موجود در خاک را که براینده این ورود و خروج است در هر روز می‌توان از رابطه زیر به دست آورد.

$$SWC_i = SWC + ER_{AIN} + IRG_{Wi} - DRAIN_i - SEVP_i - Tri \quad \text{رابطه ۱۰}$$

که در آن SWC_i میزان آب موجود در خاک در

منحنی شاخص برداشت در برابر زمان گرمایی یک حالت مسطح پیدا می‌کند.

سطح برگ

روش‌ها و رابطه‌های چندی برای پیش‌بینی رشد و گسترش سطح برگ ابداع و استفاده شده‌اند. این روش‌ها را می‌توان به سه دسته تقسیم‌بندی کرد: (۱) روش‌های منبع محدود، (۲) روش‌های مقصد محدود، (۳) روش‌های ترکیبی که در این تحقیق از روش ترکیبی استفاده شده است (Sphere, 2005). بر پایه روش ترکیبی برآورد سطح برگ در مرحله‌های اولیه رشد، گسترش سطح برگ بر مبنای ارتباط با دما محاسبه می‌شود و در مرحله‌های بعدی به میزان ماده خشک اختصاص یافته برای رشد برگ‌ها ارتباط داده می‌شود (Kropff & Van Laar, 1993). محاسبات مربوط به سطح برگ با روشی همسان به آنچه در مدل EPIC (Zarei et al., 2011) که در مدل SBEET و ذرت (Soltani, 2009b) به کار گرفته شده بود انجام گرفت. که میزان شاخص برگ بر پایه این مدل، در هر روز از کاشت تا برداشت از رابطه زیر محاسبه شد.

$$LAI = RLAI^1 \times LAI_{max} \quad (6)$$

که در آن LAI شاخص سطح برگ، RLA نسبت LAI موجود به بیشینه LAI قابل دستیابی توسط محصول (LAI_{max}) هستند. که میزان RLAI با توجه به مرحله نمو استاندارد شده (NGS، نسبت زمان گرمایی موجود به زمان گرمایی از کاشت تا رسیدگی برداشت) از معادلات زیر به دست آمد:

$$RLAI = NGS / (NGS + EXP(a + b \times NGS)) \quad (7)$$

If NGS < BLS

$$RILA = BSLAI \times ((1 - NGS) / (1 - BLS))$$

If NGS ≥ BLS

BLS^۲ مرحله نمو استاندارد شده در آغاز پر شدن

دانه است که در آن بیشترین شاخص سطح برگ^۴

(BSGLAI) به دست می‌آید و پس از آن شاخص سطح

برگ کاهش می‌یابد. a و b ضرایب‌های رابطه هستند و

با در دست بودن دو نقطه D1 و D2 و از روش حل

1. Raito Leaf Area Index

2. Leaf Area Index Maximum

3. Beginning leaf stage

4. Leaf area index at beginning seed growth

5. Plant Density

6. Soil Water Capacity

به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی و گزارش‌شده توسط دیگر محققان به‌دست‌آمده بود خطی بین نقاط برازش داده شد که ضریب تبیین آن ($R^2 = 0/83$) بود، این امر نشان‌دهنده این است که با توجه به مشاهده‌های گزارش‌شده، مدل مورد استفاده به‌احتمال ۸۳ درصد تغییر شمار روز تا سبز شدن را درست پیش‌بینی کرده است. در مورد جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) نیز عدد مورد نظر برابر با ۱/۰۱ به دست آمد که این آماره هر چه کوچک‌تر باشد بیانگر درستی مدل‌سازی و نزدیکی داده‌های پیش‌بینی‌شده به مشاهده‌شده است. در مورد میانگین شمار روز تا سبز شدن که در شکل ۱ گزارش شده است محور x بیانگر شمار روز تا سبز شدن (پیش‌بینی‌شده) و محور y نشان‌دهنده شمار روز تا سبز شدن (مشاهده‌شده) است که خط‌چین بیانگر روند پیش‌بینی است که در کنار خط (۱:۱) میزان درستی مدل مشخص شده است. دامنه میانگین‌های شمار روز پیش‌بینی‌شده از ۶ تا ۱۴ روز بود که میانگین روزهای پیش‌بینی‌شده نیز برابر با ۸/۸ روز است. در مورد شمار روز مشاهده‌شده برای سبز شدن دامنه گزارش‌ها از ۵ تا ۱۲ روز بود و میانگین اعداد نیز ۸ به دست آمد. کارایی مدل با توجه به فراسنجه‌های مختلف ارزیابی می‌شود یکی از معیارهای ارزیابی مدل ضریب‌های رگرسیون خطی ساده بین صفات پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده است که در هریک از صفات بررسی می‌شود تا اعتبار مدل سنجیده شود (Van Ittersum *et al.*, 2003).

شمار روز تا پایان رشد برگ

بر پایه نتایج تجزیه رگرسیونی داده‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهده‌شده برای شمار روز تا پایان رشد برگ (جدول ۳)، آماره‌های مورد استفاده برای ارزیابی مدل به شرح زیر به‌دست آمد ($a = 0/97 \pm 0/24$ ، $b = 2/79 \pm 14/94$ ، $CV = 7/62$ ، $R^2 = 0/66$ ، $RMSE = 4/77$). در مورد ضریب‌های خط رگرسیونی نیز باید عنوان کرد که با توجه به اعداد به دست آمده از خط رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط برای ضریب a صفر در دامنه تغییر

روز نام، SWC میزان آب موجود در خاک در روز $i-1$ ام، $ERAIN^1$ میزان بارندگی مؤثر، $IRGWi$ میزان آب از راه آبیاری در روز نام، $DRAINi$ میزان زهکشی عمقی که از محل ریشه خارج شده است، $SEVPi^2$ میزان تبخیر از سطح خاک و Tri^4 میزان تعرق روزانه گیاه است. محاسبات مربوط به زهکشی و تبخیر و تعرق بنا بر پژوهش Soltani (2009a) انجام شد. فراسنجه‌های مربوط به موازنه آب خاک شامل ضریب تصحیح تولید ماده خشک برای تنش آب 5 (WSSG)، ضریب تصحیح گسترش سطح برگ برای تنش آب (WSSL)، ضریب خاموشی برای کل تابش در محاسبه تقسیم تبخیر-تعرق (KET)، ضریب آلبیدوی گیاه (CALB) 6 و عمق مؤثر استخراج آب از خاک (SOLDEP) 7 هستند که میزان آن‌ها برای این مدل در جدول ۲ آورده شده است.

نتایج درزمینه ارزیابی مدل

شمار روز تا سبز شدن

بر پایه بررسی صورت گرفته نتایج قابل استناد برای درستی و ارزیابی مدل در جدول ۳ گزارش شده است که در آن ابتدا ضریب‌های رگرسیونی خط برازش داده شده بین نقاط برابر ($a = 1/21 \pm 0/19$) و ($b = -0/91 \pm 1/57$) بود که برای بررسی اینکه آیا با خط ۱:۱ اختلاف دارند یا نه درجه آزادی هر صفت را ضربدر خطای استاندارد کرده و \pm ضریب‌های خط رگرسیونی می‌شود به‌طوری‌که برای a باید عدد صفر در دامنه مورد نظر قرار گیرد و برای b عدد یک باید در دامنه باشد که در مورد این صفت تنها ضریب a یا همان صفر در محدوده قرار داشت، ضریب تغییرپذیری 9 برای این صفت برابر با (۱۱/۵۸) درصد بود. با توجه به پراکنش نقاطی که از داده‌های

1. Effective Rain
2. Amount of drainage water from top layer
3. Soil Evaporation
4. Daily transpiration
5. FTSW threshold when dry matter production starts to decline
6. Extinction coefficient for evaporation and transpiration
7. Crop albedo
8. Soil depth
9. Coefficiency of Variation

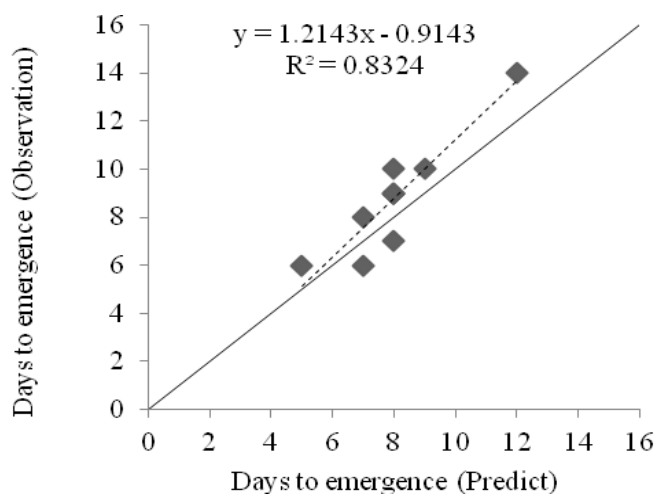
نشان می‌دهد که هر قدر این آماره کمتر باشد نشان‌دهنده دقیق‌تر بودن مدل است. در زمینه مقایسه داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده برای شمار روز تا پایان رشد برگ که در شکل ۲ گزارش شده است. دامنه تغییرپذیری میانگین شمار روز تا پایان رشد برگ پیش‌بینی شده ۵۳ تا ۷۴ بود و میانگین این اعداد برابر با ۶۲/۶ روز بود و برای روز تا پایان رشد برگ مشاهده شده، دامنه اعداد ۵۱ تا ۷۱ بود که میانگین آن برابر با ۶۱/۲ روز به دست آمد. در شکل زیر خط چین بیانگر برازش داده بین خطوط پیش‌بینی شده و مشاهده شده است و خط توپر همان خط ۱:۱ است که برای مقایسه گزارش شده است

این خط قرار داشت اما ضریب b که خط ۱:۱ در محدوده تعیین شده قرار نداشت. در مورد ضریب تغییرپذیری‌ها نیز با توجه به عدد به دست آمده از جذر میانگین مربعات خطا بر میانگین کل ضربدر ۱۰۰، میزان پراکندگی اعداد شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در محدوده شایان پذیرشی قرار داشت که این آماره دقت مدل را نشان می‌دهد و در نهایت ضریب تبیین یا R² بیانگر میزان درستی شبیه‌سازی اعداد را نشان می‌دهد که به احتمال ۶۶ درصد شمار روز تا پایان رشد برگ را درست پیش‌بینی کرده بود. با توجه به موارد گزارش شده ریشه میانگین مربعات میزان خطای برآورد داده‌های شبیه‌سازی در برابر مشاهده شده را

جدول ۳. نتایج به دست آمده از تجزیه رگرسیونی بین داده‌های مشاهده شده و پیش‌بینی شده توسط مدل یاد شده

Table 3. The Results of regression analyzes between observed and predicted data by this model

Traits	df	a±se	b±se	CV	R ²	RMSE
Days to emergence	9	1.21±0.19	-0.91±1.57	11.58	0.83	1.01
- Days to termination leaf growth	9	0.97±0.24	2.79±14.94	7.62	0.66	4.77
Days to beginning seed growth	9	1.06±0.18	-5.36±14.15	5.09	0.80	3.83
- Days to termination seed growth	9	1.02±0.22	-1.36±22.22	4.44	0.73	4.52
Days to harvest	9	1.34±0.32	-42.31±38.47	4/97	0.67	5.77



شکل ۱. شمار روز تا سبز شدن پیش‌بینی شده در مقابل شمار روز تا سبز شدن مشاهده شده، خط توپر بیانگر خط (۱:۱) و خط چین بیانگر رابطه رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط به دست آمده است

Figure 1. Days to emergence predicted in versus of days emergence observed. Filled line indicate the line (1: 1) and dash line indicate regression equation has been obtained between the points

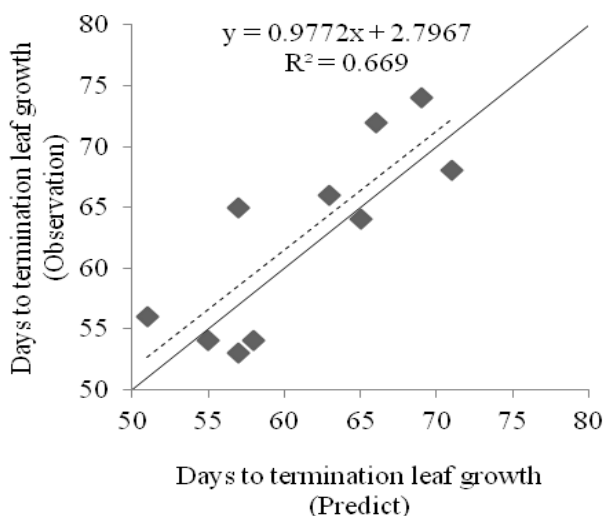
داشت و هنگامی که $df_0=26/2$ در $se=14/15$ ضرب و $\pm (a=-5/36)$ شده نقطه صفر در این محدوده قرار نداشت که بادقت نیز همین عملیات ریاضی برای خطای استاندارد و ضریب b نیز صورت گرفت که عدد ۱ در محدوده محاسبه شده قرار نداشت. ضریب

شمار روز تا آغاز پر شدن دانه

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳ در آغاز ضریب‌های خط رگرسیونی برازش داده شده بین اعداد پیش‌بینی شده و مشاهده شده بیان می‌شود که این ضریب‌ها مقادیر $a=1/06 \pm 0/18$ و $b=-5/36 \pm 14/15$

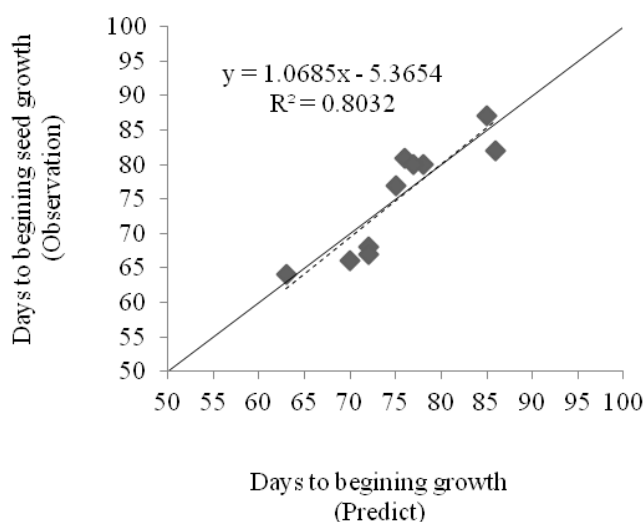
نشان‌دهنده میزان دقت بالای مدل در شبیه‌سازی شمار روز تا آغاز رشد دانه است. در مورد میانگین شمار روز تا آغاز پر شدن دانه دامنه اعداد مشاهده شده از ۶۴ تا ۸۷ روز و میانگین ۷۵/۲ روز بود و در مورد روزهای پیش‌بینی شده تا آغاز پر شدن دانه ۶۳ تا ۸۶ روز بود که میانگین ۷۵/۴ داشت. در شکل ۳ خط‌چین بیانگر برازش خط ناشی از تجزیه رگرسیونی بین اعداد پیش‌بینی شده و گزارش شده است که با خط ۱:۱ مقایسه شده است.

تغییرپذیری‌ها برای این صفت برابر ۵/۰۹ درصد است که نشان‌دهنده میزان دقت بالای مدل مورد استفاده است. درزمینه ضریب تبیین ($R^2=0/۸۰$) بیانگر این واقعیت بود که با فراسنجه‌هایی که پیشتر به آن‌ها اشاره شد به احتمال ۸۰ درصد اعداد را درست پیش‌بینی کرده است. آماره دیگری که با استفاده از آن برای ارزیابی مدل استفاده می‌شود ریشه میانگین مربعات خطا است که برای این صفت برابر با $RMSE=۳/۸۳$ است که کم بودن میزان آن



شکل ۲. شمار روز تا پایان رشد برگ پیش‌بینی شده در مقابل شمار روز تا پایان رشد برگ مشاهده شده خط توپر بیانگر خط (۱:۱) و خط‌چین بیانگر رابطه رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط به دست آمده است.

Figure 2. Days to termination leaf growth predicted in versus of days to termination leaf growth observed. Filled line indicate the line (1: 1) and dash line indicate regression equation has been obtained between the points



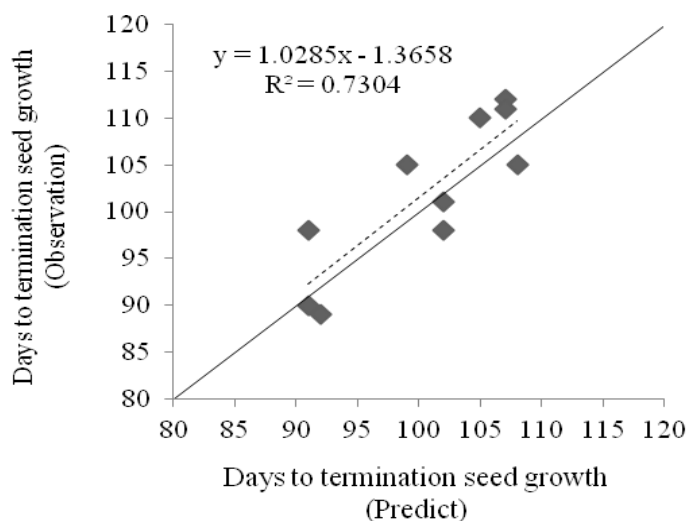
شکل ۳. شمار روز تا آغاز پر شدن دانه پیش‌بینی شده در برابر شمار روز آغاز پر شدن دانه مشاهده شده، خط توپر بیانگر خط (۱:۱) و خط‌چین بیانگر رابطه رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط به دست آمده است

Figure 3. Days to beginning seed growth predicted in versus of days to beginning seed growth observed. Filled line indicate the line (1: 1) and dash line indicate regression equation has been obtained between the points

شمار روز تا پایان پر شدن دانه

با توجه به نتایج تجزیه رگرسیونی داده‌های مربوط به شمار روز تا پایان پر شدن دانه بین پیش‌بینی شده و مشاهده شده آماره‌های مهمی که از راه آن می‌توان مدل را ارزیابی کرد، در آغاز ضریب‌های خط رگرسیونی که از روش برازش داده به دست آمده است که $a = 1/02 \pm 0/22$ و $b = -1/36 \pm 22/22$ است ضریب‌های a و b به ترتیب نشان‌دهنده میزان انحراف خط رگرسیون از مبدأ مختصات و میزان اریب خط رگرسیون از خط ۱:۱ را نشان می‌دهد. که ضریب‌های این رابطه بر مبنای اطمینان ۰/۹۵ سنجیده می‌شوند که (۴۰) تنها ضریب a در محدوده خط ۱:۱ قرار داشت ($b=1$ و $a=0$). همچنین میزان ضریب تغییرپذیری در مورد این صفت برابر با $CV=4/44$ بود که نشان‌دهنده پراکندگی نداشتن داده‌ها حول میانگین است. درزمینه میزان R^2 برای

این صفت برابر با ۰/۷۳ بود که این امر بیانگر آن است که به احتمال ۷۳ درصد داده‌ها پیش‌بینی شده با داده‌های مشاهده شده یکسان بودند. جذر میانگین مربعات اشتباه برابر با $RMSE=4/52$ بود که این میزان نیز با توجه به پایین بودن میزان آن گویای مطلوب بودن مدل مورد استفاده بود (جدول ۳). در شکل ۴ داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهده شده با هم مقایسه شدند که دامنه تغییرپذیری داده‌های روز تا پایان پر شدن دانه (مشاهده شده) از ۹۱ تا ۱۰۸ روز بود و با میانگین ۱۰۰/۴ روز به دست آمد و داده‌های پیش‌بینی شده دامنه تغییرپذیری از ۸۹ تا ۱۱۲ روز و با میانگین ۱۰۱/۹ روز داشت در شکل ۴ خط‌چین بیانگر رابطه خط رگرسیونی برازش داده شده بین پیش‌بینی شده و مشاهده شده است و خط توپر خط ۱:۱ که برای مقایسه ترسیم شده است.



شکل ۴. شمار روز تا پایان پر شدن دانه پیش‌بینی شده در مقابل شمار روز پایان پر شدن دانه مشاهده شده، خط توپر بیانگر خط (۱:۱) و خط‌چین بیانگر رابطه رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط به دست آمده است

Figure 4. Days to termination seed growth predicted in versus of days to termination seed growth observed. Filled line indicate the line (1: 1) and dash line indicate regression equation has been obtained between the points

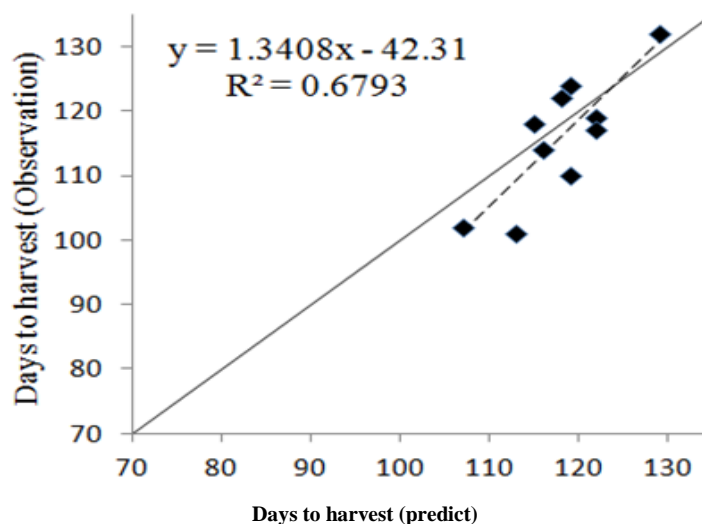
شمار روز تا رسیدگی محصول

دامنه تغییرپذیری شمار روز تا برداشت در داده‌های مشاهده شده از ۱۰۷ تا ۱۲۹ روز و میانگین ۱۱۸ روز بود و در مورد دامنه تغییرپذیری داده‌های پیش‌بینی شده برای این صفت ۱۰۱ تا ۱۳۲ روز و میانگین ۱۱۵/۹ روز به دست آمد. همان‌گونه که در شکل ۵ نشان داده شده است خط‌چین که رابطه رگرسیونی برازش داده شده بین

نقاط حاصل از مشاهده شده و پیش‌بینی مدل است در حول خط ۱:۱ قرار دارد که این امر با بیان ضریب‌های معادله خط یعنی $a = 1/34 \pm 0/32$ و $b = 42/31 \pm 38/47$ دامنه ضریب a برآورد شده با ضریب‌های خط ۱:۱ اختلاف معنی‌داری نداشته و عدد صفر برای ضریب a در این محدوده قرار داشت و عدد ۱ برای ضریب b در محدوده تعریف شده قرار نداشت. برای مشخص کردن

صفات که با مدل پیش‌بینی شده‌اند دقت به نسبت کمتری داشته و همان‌گونه که از ضریب تبیین بر می‌آید ($R=0/67$) درصد درستی پیش‌بینی روز تا رسیدگی ۶۷ درصد بود (جدول ۳).

دقت میزان پراکندگی داده‌های مدل و میزان دقت برآورد داده‌ها از ضریب تغییرپذیری که برابر با $4/97$ درصد است استفاده شد. جذر میانگین مربعات خطا یعنی RMSE برابر با $5/77$ بود که نسبت به دیگر



شکل ۵. شمار روز تا رسیدگی پیش‌بینی شده در مقابل شمار روز تا رسیدگی مشاهده‌شده، خط توپر بیانگر خط (۱:۱) و خط چین بیانگر رابطه رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط به دست آمده است.

Figure 5. Days to harvest predicted in versus of days to harvest observed. Filled line indicate the line (1: 1) and dash line indicate regression equation has been obtained between the points

جدول ۴. آماره‌های مورد استفاده برای ارزیابی مدل برای صفات عملکرد دانه، ماده خشک کل در زمان آغاز پر شدن دانه، شاخص برداشت و شاخص سطح برگ

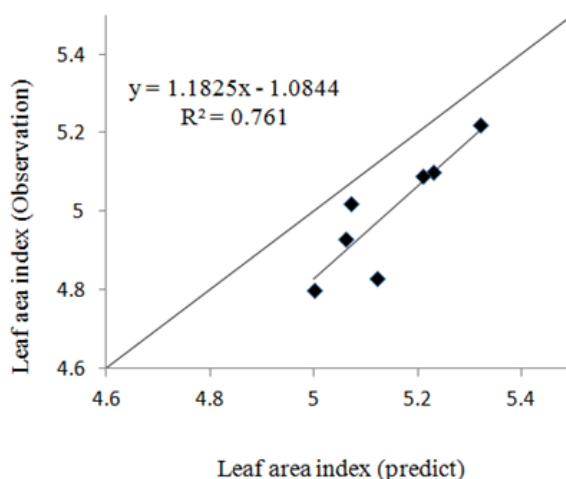
Table 4. The statistics used to evaluate the model for grain yield, harvest index and leaf area index

Traits	df	a±se	b±se	CV	R ²	RMSE
Leaf area index	7	1.18±0.29	-1.08±1.52	1.64	0.76	0.082
Harvest index	7	0.86±0.22	6.72±10.51	3.84	0.71	1.80
Grain yield	8	0.93±0.23	0.29±2.11	4.13	0.69	0.36

شخص سطح برگ
نتایج تجزیه رگرسیونی داده‌های مربوط به شاخص سطح برگ نشان داد که ضریب‌های خط رگرسیونی برازش داده شده برابر با $a=1/18 \pm 0/29$ و $b=-1/08 \pm 1/52$ برآورد شد این نقاط حول خط ۱:۱ قرار دارد و همان‌گونه که ضریب تغییرپذیری $CV=1/64$ و جذر میانگین مربعات خطا $(RMSE=0/082)$ نشان می‌دهد دقت برآورد مدل بسیار بالا بوده است. ضریب تبیین نیز بیانگر این واقعیت است که به احتمال ۷۶ درصد داده‌های پیش‌بینی شده به داده‌های مشاهده‌شده نزدیک بود

(جدول ۴) ($R_2=0/76$). بر پایه نتایج شکل ۶ که روند رابطه خط رگرسیونی به دست آمده از برازش داده‌های شبیه‌سازی و مشاهده‌شده را نشان می‌دهد خط چین به عنوان رابطه رگرسیونی داده‌ها با خط توپر تا حدی در یک سمت و جهت بودند که این امر درستی مدل را نشان می‌دهد در مورد دامنه تغییرپذیری میانگین‌های شاخص سطح برگ نیز برای داده‌های مشاهده‌شده از ۴/۴ تا ۵/۲۲ و میانگین این داده‌ها برابر با ۴/۹۲ بود و برای داده‌های مربوط به شاخص سطح برگ پیش‌بینی شده دامنه تغییرپذیری از ۴/۸ تا ۵/۳۲ و میانگین آن‌ها ۵/۱۰ بود.

شخص سطح برگ
نتایج تجزیه رگرسیونی داده‌های مربوط به شاخص سطح برگ نشان داد که ضریب‌های خط رگرسیونی برازش داده شده برابر با $a=1/18 \pm 0/29$ و $b=-1/08 \pm 1/52$ برآورد شد این نقاط حول خط ۱:۱ قرار دارد و همان‌گونه که ضریب تغییرپذیری $CV=1/64$ و جذر میانگین مربعات خطا $(RMSE=0/082)$ نشان می‌دهد دقت برآورد مدل بسیار بالا بوده است. ضریب تبیین نیز بیانگر این واقعیت است که به احتمال ۷۶ درصد داده‌های پیش‌بینی شده به داده‌های مشاهده‌شده نزدیک بود



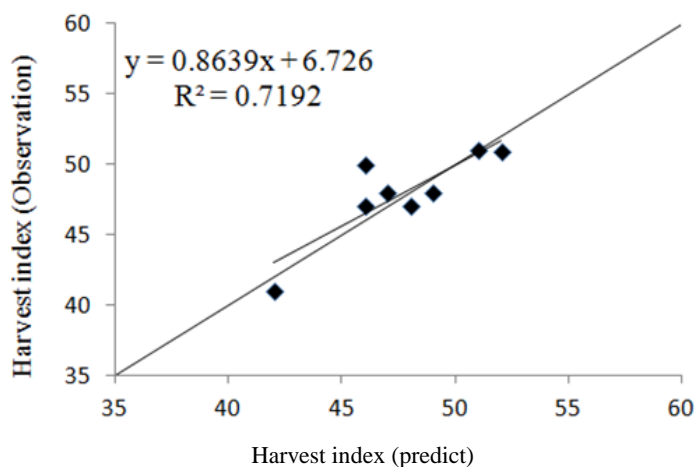
شکل ۶. شاخص سطح برگ پیش‌بینی شده در مقابل شاخص سطح برگ مشاهده شده، خط توپر بیانگر خط (۱:۱) و خط چین بیانگر رابطه رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط به دست آمده است

Figure 6. Leaf area index predicted in versus of leaf area index observed. Filled line indicate the line (1: 1) and dash line indicate regression equation has been obtained between the points

ضریب تبیین نیز نشان می‌دهد که به احتمال ۷۴ درصد داده‌های مربوط به پیش‌بینی شاخص برداشت با داده‌های مشاهده شده همخوانی داشت. در زمینه جذر میانگین مربعات خطا که یک معیار اساسی برای ارزیابی مدل به شمار می‌رود در این صفت نیز ناچیز گزارش شد. با توجه به نتایج گزارش شده در شکل ۷ دو خط به چشم می‌خورد که خط چین نشان‌دهنده رابطه خط رگرسیونی حاصل از نقاط پیش‌بینی و مشاهده شده شاخص برداشت بوده و خط توپر مربوط به خط ۱:۱ است که برای تعیین درستی مدل آورده شده است.

شاخص برداشت

آماره‌های به دست آمده از تجزیه رگرسیونی داده‌های شاخص برداشت به ترتیب عبارت‌اند از $a = 0.86 \pm 0.22$, $RMSE = 1/80$, $R^2 = 0.71$, $CV = 3/84$, $b = 6/72 \pm 10/51$ که ضریب‌های خط رگرسیونی برازش داده شده گویای آن بود که ضریب a خط ۱:۱ در محدوده تعیین شده برای ضریب a رابطه خط به دست آمده بود ولی ضریب b همانند دیگر صفات در محدوده تعیین شده قرار نداشت (جدول ۴). ضریب تغییرپذیری در این صفت نشان‌دهنده میزان دقت بالای مدل است.



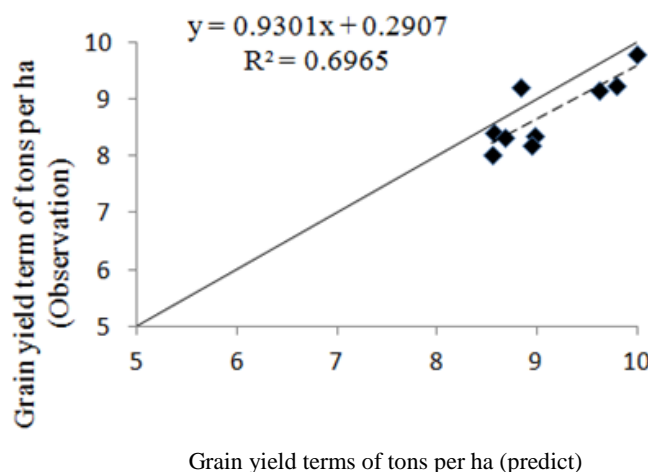
شکل ۷. شاخص برداشت پیش‌بینی شده در مقابل شاخص برداشت مشاهده شده، خط توپر بیانگر خط (۱:۱) و خط چین بیانگر رابطه رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط به دست آمده است

Figure 7. Harvest index predicted in versus of harvest index observed. Filled line indicate the line (1: 1) and dash line indicate regression equation has been obtained between the points

از دیگر آماره‌هایی که برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌شود جذر میانگین مربعات خطا است که در مورد میزان عملکرد دانه (RMSE=۰/۳۶) بود که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی میزان عملکرد است (جدول ۴). شکل ۸ نشان می‌دهد که دامنه تغییرپذیری عملکرد دانه برای داده‌های مشاهده‌شده بین ۸/۵۴ تن تا ۹/۹۹ تن در هکتار و میانگین داده‌ها ۹/۰۹ تن بود و برای داده‌های پیش‌بینی‌شده دامنه تغییرپذیری عملکرد بین ۸/۰۲ تا ۹/۲۵ تن و میانگین آن‌ها ۸/۷۵ تن در هکتار بود. در نمودار زیر خط‌چین رابطه رگرسیونی برازش داده شده و خط توپر نشان‌دهنده خط ۱:۱ است که برای مقایسه این خطوط با هم گزارش شده است.

میزان عملکرد دانه

یکی از معیارهای ارزیابی مدل ضریب‌های رگرسیونی خطی بین میزان عملکرد مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده است که با مقادیر $a=0/93 \pm 0/23$ و $b=0/29 \pm 2/11$ با توجه به ضریب‌های خط ۱:۱ که (۱ و ۰) است ضریب‌های خط رگرسیونی یادشده در محدوده مجاز خط استاندارد قرار دارد. در زمینه ضریب تغییرپذیری مربوط به عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده و مشاهده‌شده ($CV=4/13$) دقت مدل بسیار بالا بوده به‌گونه‌ای که در آزمایش‌های مزرعه‌ای حد مجاز برای ضریب تغییرپذیری تا ۲۵ تا ۳۰ است. میزان R^2 برای عملکرد دانه برابر با ۰/۶۹ بوده که این امر بیانگر این است که به احتمال ۶۹ درصد داده‌های پیش‌بینی‌شده با داده‌های مشاهده‌شده همخوانی دارند.



شکل ۸. عملکرد دانه پیش‌بینی‌شده در مقابل عملکرد دانه مشاهده‌شده، خط توپر بیانگر خط (۱:۱) و خط‌چین بیانگر رابطه رگرسیونی برازش داده شده بین نقاط به دست آمده است

Figure 8. Grain yield predicted in versus of grain yield observed. Filled line indicate the line (1: 1) and dash line indicate regression equation has been obtained between the points

یا تحت تأثیر شرایط مزرعه‌ای قرار گرفته و تغییر می‌کنند. هنگامی که سامانه تحت بررسی باشد ارزیابی مدل خیلی سخت است ولی هنگامی که تناوب‌های زراعی و سامانه‌های کاشت برای چندین سال نیز به آن اضافه شود، این مسئله خیلی سخت‌تر خواهد شد. در بسیاری از موارد، به داده‌های زیادی برای ارزیابی فرایندهای مختلف شبیه‌سازی‌شده توسط مدل، نیاز است افزون بر این همه خروجی‌های مدل نمی‌توانند تحت ارزیابی مدل قرار گیرند زیرا اندازه‌گیری دقیق

بحث

به صورت قراردادی، ارزیابی مدل با مقایسه خروجی‌های شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با داده‌های گردآوری‌شده به دور از واقعیت صورت می‌گیرد. اگرچه ارزیابی مدل‌ها می‌توانند با عامل‌های مختلف به‌گونه‌ای محدود شوند که اجرای درست و بهینه مدل را دشوار سازد. اطلاعات دقیق و جزئی‌جزء از شرایط اولیه سامانه‌های زراعی به منظور انجام این مقایسه‌ها مورد نیاز است، اطلاعاتی که همیشه در دسترس نیستند و

است. این گویای توانایی خوب مدل در پیش‌بینی عملکرد نهایی در فصل رشد است. Bannayan *et al.* (2003) برای پیش‌بینی عملکرد نهایی گندم در دوره فصل رشد گیاه (مرحله‌های ۳ تا ۵ برگی، ظهور برگ پرچم و شیری شدن دانه) در چهار منطقه انگلستان به کمک مدل CERES-Wheat بیان داشتند که مدل در حد شایان پذیرشی عملکرد نهایی را در مرحله‌های مختلف رشد گیاه پیش‌بینی می‌کند. Arora *et al.* (2007) مدل CERES-Wheat را برای بررسی واکنش تولید گندم به آب‌وهوای رژیم‌های آبیاری و کود نیتروژن در یک منطقه نیمه‌خشک گرمسیری در هندوستان استفاده کردند. Sinclair & Muchow (1999) مدلی برای سویا طراحی کردند که از این مدل به‌عنوان یک چهارچوب برای طراحی مدل‌های دیگر گیاهان زراعی مانند گندم (Arnir & Sinclair, 1991)، ذرت (Sinclair & Muchow, 2013; Turabi & Soltani, 1999)، سورگوم (Hammer & Muchow, 1994)، بادام‌زمینی (Hammer *et al.*, 1995) و نخود (Soltani *et al.*, 1999) استفاده شد.

نتیجه‌گیری نهایی

بر پایه نتایج به‌دست‌آمده می‌توان این‌گونه استنباط کرد که برآورد و تعیین فراسنجه‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی مرحله‌های رشدی و عملکرد ذرت میان‌رس به‌درستی صورت گرفته و با استفاده از این مدل می‌توان زمان دقیق کاشت و بهترین تاریخ کاشت برای برآورد بیشینه عملکرد را در استان همدان انجام داد. برای اینکه مدل بتواند در دامنه گسترده‌تری از تاریخ کاشت و عرض جغرافیایی استفاده شود لازم است اثر طول روز بر مرحله‌های مختلف رشد و نمو ذرت بررسی شود. همچنین برای محاسبه میزان سطح برگ برای افزایش دقت شبیه‌سازی به‌جای مدل EPIC از دیگر مدل‌ها استفاده شود. در این تحقیق مدل موازنه آب‌وخاک در نظر گرفته شده است برای بهبود پیش‌بینی مدل می‌توان از زیر مدل‌های آب خاک و کاربرد عنصرهای غذایی مانند نیتروژن، فسفر و پتاسیم استفاده کرد.

بعضی از فراسنجه‌ها یا خیلی سخت است و یا به‌کلی ممکن نیست. از دیگر نارسایی‌هایی که در مسیر ارزیابی مدل وجود دارد، انتخاب شاخص‌های کمی مورد استفاده برای ارزیابی کارایی مدل است. به‌طورمعمول این شاخص‌های آماری بر تک‌تک مقایسه‌ها (مشاهده‌شده در برابر شبیه‌سازی‌شده)، خطا در اندازه‌گیری و دیگر منابع تغییر آزمایش‌های مزرعه‌ای تکیه دارند. افزون بر این اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در سری‌های زمانی به‌طور مطلوب ارزیابی نمی‌شوند و خروجی‌های شبیه‌سازی‌شده، نسبت به مقادیر مشاهده‌شده، زمان به نسبت کمی برای تغییر دارند (Stockle *et al.*, 2003). هدف اصلی از ارزیابی مدل، این است که مشخص شود پیش‌بینی‌های مدل تا چه اندازه با اندازه‌گیری‌ها همخوانی دارند. در ارزیابی مدل باید بر پایه معیارهای از پیش تعیین‌شده در بخش هدف‌ها عمل کرد. چنانچه پیش‌بینی‌ها همخوانی شایان‌پذیرشی با اندازه‌گیری داشته باشد، کار کامل بوده و مدل نهایی خواهد شد. چنانچه پیش‌بینی‌ها و خروجی مدل شایان‌پذیرش نباشد، باید معادله‌ها و روش‌های کمی به کار گرفته‌شده بازنگری شود و در صورت لزوم از روش‌ها و معادله‌های جایگزین استفاده شود و ارزیابی دوباره انجام گیرد. در صورتی که اشکال از روش‌ها کمی نباشد، ممکن است ضروری باشد در فرضیه‌ها تجدیدنظر شود. برای مثال، در صورت موفقیت یک مدل پدیدشناختی مبتنی بر دما، شاید لازم باشد تأثیر طول روز نیز در نظر گرفته شود. چنانچه باز هم نتیجه شایان‌پذیرش به دست نیامد باید در هدف‌ها و انتظارات از مدل تجدیدنظر صورت گیرد و یا کار به مدل‌سازی پایان داده شود بدون آنکه مدل مناسبی به‌دست‌آمده باشد (Soltani, 2009a). Chipanshi *et al.* (1997) به‌منظور پیش‌بینی عملکرد نهایی گندم در مرحله‌های مختلف رشد گیاه (استقرار گیاه، تمایز سنبله‌انتهایی، پایان رشد رویشی و آغاز رشد دانه) در منطقه ساسکاچوان کانادا با استفاده از مدل CERES-Wheat بیان کردند که عملکرد نهایی شبیه‌سازی‌شده در مرحله‌های مختلف نمو با عملکرد نهایی مشاهده‌شده دارای اختلاف کمتر از ۱۰ درصد

REFERENCES

1. Akbari, G. (1991). *The effects of plants and planting pattern on growth, yield and yield components of corn in Isfahan*. Master's thesis. Isfahan University of Technology, Iran. (in Farsi)
2. Arnir, J. & Sinclair, T. R. (1991). A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crops Research*, 29, 59-69.
3. Arora, V. K., Singh, H. & Singh, B. (2007). Analyzing wheat productivity responses to climatic, irrigation and fertilizer-nitrogen regimes in a semi-arid sub-tropical environment using the CERES-Wheat model, *Agriculture Water Management*, 94, 22-30.
4. Bannayan, M., Crout, N. M. J., & Hoogenboom, G. (2003). Application of the CERES-wheat model for within season prediction of winter wheat yields in the United Kingdom. *Agronomy Journal*, 95, 114-125.
5. Chipanshi, A. C., Ripley, E. A. & Lawford, R. G. (1997). Early prediction of spring wheat yields in Saskatchewan from current and historical weather data using the CERES-wheat model. *Agriculture for Meteorol.*, 84, 223-232.
6. Chokan, R. & Shyrkhany, A. (2010). Estimation of heat required for processing Makhlef of hybrid corn in Kermanshah. *Journal of Agricultural and seedlings and seeds*, 26(3), 259-284. (in Farsi)
7. Dadrasi, V. A., Aboutalebian, M. A., Ahmadvand, G., Mousavi, S. S. & Seayedi, M. (2012). Effect of on-farm seed priming and irrigation interval the on growth indices of two corn cultivars (*Zea mays* L.). *Journal of Agriculture*, 7, 67-88. (in Farsi)
8. Farhadi Bansouleh, B. (2009). *Development of a spatial planning support system for agricultural policy formulation related to land and water resources in Borkhar&Meymeh district, Iran*. Ph.D. Thesis. ITC/Wageningen University, Enschede/Wageningen, The Netherlands.
9. Geerts, S. & Raes, D. (2009). Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*, 96, 1275-1284.
10. Gholipour, M. & Soltani, A. (2005). SBEET a simple model to simulate growth and yield of sugar beet. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19(2), 11-26. (in Farsi)
11. Hammer, G. L. & Muchow, R. C. (1994). Assessing climatic risk to sorghum production in water limited subtropical environment; I. development and testing of assimilation model. *Field Crop Research*, 36, 221-234.
12. Hammer, G. L., Sinclair, T. R., Boote, K. J., Wright, G. C., Meinke, H. & Bell, M. J. (1995). A peanut simulation model: I. Model development and testing. *Agronomy Journal*, 87, 1085-1093.
13. Hsiao, T. C., Heng, L. K., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D. & Fereres, E. (2009). AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*, 101, 448-459.
14. Jones, J. W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A. & Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT cropping system model. *European journal of Agronomy*, 18(3), 235-265.
15. Karimi, A. F., Ahmadvand, G. & sphere, S. (2012). The effect foliar application iron and zinc of corn yield in drought stress conditions in Hamedan. Bu-Ali Sina University in Hamedan thesis master. (in Farsi)
16. Keating, B. A., Carberry, P. S., Hammer, G. L., Probert, M. E., Robertson, M. J., Holzworth, D. & Smith, C. J. (2003). An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18(3), 267-288.
17. Kordbahmany, M., Aboutalebian, M. A. & Ahmadvand, G. (2009). *The effects of the use of the three micronutrients (iron, zinc and manganese) on some indicators of crop and yield of two corn hybrids in Hamadan*. M. Sc. Thesis, Bu-Ali Sina University. (in Farsi)
18. Kropff, M. J. & van Laar, H. H. (1993). Modelling crop-weed interactions. *International. Rice Research*, Insta.
19. Muchow, R. C. (1990). Effect of high temperature on grain-growth in field-grown maize. *Field Crops Research*, 23, 145-158.
20. Muchow, R. C. & Sinclair, T. R. (1991). Water deficit effects on maize yields modeled under current and greenhouse climates. *Agronomy Journal*, 83, 1052-1059
21. Otegui, M. E., Nicolini, M. G., Ruiz, R. A. & Dodds, P. A. (1995). Sowing date effects on grain yield components for different maize genotypes, *Agronomy Journal*, 87, 29-33.
22. Penning de Vries, F. W. T. (1975). Use of assimilates in higher plants. *Photosynthesis and productivity in different environments*, 15, 541-557.
23. Perry, M. W., Siddique, K. H. M. & Wallace, J. F. (1987). Predicting phenological development of Australian wheats. *Australian Journal of Agricultural Research*, 38, 809-819.

24. Ramezani, M., Samieezadeh Lahidji, S., Abraham Kulyab, H. & Ghasemi, S. (2008). Studies trials Agronomic and morphological of corn hybrids through the analysis factors in Hamedan. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 45. (in Farsi)
25. Richter, G. M. & Semenov, M. A. (2005). Modeling impacts of climate change on wheat yields in England and Wales: assessing drought risks. *Agricultural Systems*, 84(1), 77-97.
26. Saeki, T. (1960). Interrelationships between leaf amount, light distribution and total photosynthesis in a plant community. *Botany Magazine Tokyo*, 73, 55-63.
27. Siddique, K. H. M., Belford, R. K., Perry, M. W. & Tennant, D. (1989). Growth, development and light interception of old and modern wheat cultivars in a mediterranean-type environment. *Australian Journal of Agricultural Research*, 40, 473-487.
28. Sinclair, T. R. & Muchow, R. C. (1999). Radiation use efficiency. *Advances in Agronomy*, 65, 215-265.
29. Sinclair, T. R. (1986). Water and nitrogen limitations in soybean grain production: I model development. *Field Crop Research*, 15, 125-141.
30. Soltani, A. (2009a). *Mathematical Modeling in Field Crops*, JDM Press. (in Farsi)
31. Soltani, A. (2009b). *Mathematical modeling of the crop*. Publication Mashhad University Jihad. 175 pages. (in Farsi)
32. Soltani, A. & Hoogenboom, G. (2007). Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crops Research*, 103(3), 198-207.
33. Soltani, A., Torabi, B. & Zarei, H. (2005). Modeling crop yield using a modified harvest index-based approach: Application in chickpea. *Field Crops Research*, 91, 273-258.
34. Soltani, A., Hammer, G. L., Torabi, B., Robertson, M. & Zeinali, J. (2006). Modeling chickpea growth and development; phenological development. *Field Crops Research*, 99, 1-13.
35. Soltani, A., Gholipour, M. Hajizadeh, H. (2005). SBEET: A simple model to simulate growth and yield of sugar beet. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 19, 11-26.
36. Soltani, A., Khoorie, F. R., Ghassemi-Golezani, K., Rahimzadeh-Khoorie, F. & Moghaddam, M. (1999). A simple model for chickpea growth and yield. *Field Crops Research*, 62, 213-224.
37. Soltani, A., Robertson, M. A., Torabi, B., YousefiDaz, M. & Sarparast, R. (2006). Modeling seeding emergence in chickpea as influenced by temperature and sowing depth. *Agriculture and Forest Meteorology*, 138, 156-167.
38. Spehri, A., Modares sanavi, S. A. M., Ghareyazi, B. & Yamini, Y. (2002). Effect of water deficit and different nitrogen rates on growth and development stages, yield and yield component of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Science Agriculture*, 4(3). (in Farsi)
39. Sphere, A., Noormohammadi, G. H., Kashani, A., Popolar, A. & Piri, K. H. (1997). *Effect of sowing date and nitrogen fertilizer on corn growth and yield of the -604 SC- in Hamadan*. Master's thesis. University of Chamran. (In Farsi)
40. Sphere, S. (2005). Study of phenological stages of corn growth and yield in different sowing dates on the basis of the thermal units in Hamadan. *First National Conference of forage plants in the country*, 16 to 18 August. (in Farsi)
41. Stockle, C. O., Donatelli, M. & Nelson, R. L. (2003). CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal of Agronomy*, 18, 289-307.
42. Turabi, B. & Soltani, A. (2013). A simple model to predict grain yield (SC704). *Journal of Production and Processing of Agricultural and Horticultural*, 3(7), 1-12.
43. Van Ittersum, M. K., Leffelaar, P. A., Van Keulen, H., Kropff, M. J., Bastiaans, L. & Goudriaan, J. (2003). On applications of the Wageningen crop models. *European Journal of Agronomy*, 18, 201-234.
44. Verdopdt, V., Ranst, E. V. & Ye, L. (2002). Daily simulation of potential dry matter production of annual field crops. *Agronomy Journal*, 96, 1739-1753.
45. Willson, D. R., Muchow, R. C. & Murgatroyd, C. J. (1995). Model analysis of temperature and solar radiation limitation to maize potential productivity in a cool climate. *Field Crops Research*, 43, 1-18.
46. Zarei, G. R., Shamsi, H. & Fazeli, F. (2011). Effect of planting density on yield and yield components of safflower cultivars in spring cultivars in spring planting. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 6, 135-137.