



## برآورد پارمترهای مربوط به برخی ارقام غالب ذرت دانه‌ای در کشور به منظور استفاده در مدل مکانیزم‌گرای APSIM

سجاد رحیمی مقدم<sup>۱</sup>، \* جعفر کامبوزیا<sup>۲</sup> و رضا دیهیم‌فرد<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری گروه کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه شهید بهشتی، <sup>۲</sup> دانشیار گروه کشاورزی اکولوژیک،

دانشگاه شهید بهشتی، <sup>۳</sup> استادیار گروه کشاورزی اکولوژیک، دانشگاه شهید بهشتی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۲/۲۰؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۷/۴

### چکیده

**سابقه هدف:** مدل‌های شبیه‌سازی امکان مطالعه تأثیر مدیریت کشاورزی بر فعالیت‌های تولیدی در محیط‌های معین را مهیا می‌سازد. این ابزارها که به صورت برنامه‌های کامپیوتری هستند با کمک به مدیریت کشاورزی، امکان تصمیم‌گیری‌های مربوط به استفاده از منابع و نهاده‌های کشاورزی را فراهم می‌سازند. مدل APSIM-Maize می‌تواند در زمینه مدیریت گیاه استراتژیک ذرت مورد استفاده قرار گیرد اما به کارگیری هر مدلی نیازمند ارزیابی آن مدل می‌باشد. به همین علت این تحقیق به منظور برآورد پارمترهای مربوط به برخی ارقام غالب ذرت دانه‌ای در کشور برای استفاده در مدل مکانیزم‌گرای APSIM صورت گرفته است.

**مواد و روش:** به منظور پارامتریابی و ارزیابی مدل APSIM-Maize برای سه رقم ذرت، از مجموع داده‌های مختلفی استفاده شد. به طوری که برای پارامتریابی رقم زودرس سینگل کراس ۲۶۰ یک مجموعه داده چهار ساله (شهرستان شیراز) به کار برده شد. همچنین برای رقم‌های دیررس (سینگل کراس ۷۰۴) و متوسط‌رس (ماکسیما) از داده‌های دو منطقه (کرمان و خرم‌آباد) که هر کدام در یکسال انجام شده بودند، استفاده شد. با استفاده از این مجموعه داده‌ها بیوماس، عملکرد دانه، تعداد روز از سبز شدن تا گلدهی، تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی و شاخص سطح برای هر رقم پارامتریابی شد. برای ارزیابی مدل از یکسری مجموعه داده دیگر شامل مقالات چاپ شده در مجلات و همچنین گزارشات نهایی طرح‌های تحقیقاتی انجام شده استفاده شد. برای مقایسه مقدارهای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده سه شاخص‌های آماری ضریب تبیین ( $R^2$ )، جذر میانگین

\*مسئول مکاتبه: [j\\_kambouzia@sbu.ac.ir](mailto:j_kambouzia@sbu.ac.ir)

مربعات خطا (RMSE) و شاخص توافق ( $d$  value) محاسبه شد. در این تحقیق برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار OriginPro 9.1 استفاده گردید.

**یافته‌ها:** نتایج ارزیابی مشخص کرد که این مدل مراحل گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی سه رقم در سال‌ها و مناطق مختلف را با دقت خوبی شبیه‌سازی می‌کند، به طوری که RMSE برای روز تا گلدهی به ترتیب برابر ۱ درصد و برای روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی برابر ۱/۳۵ درصد بود. همچنین نتایج شبیه‌سازی مدل در روند شاخص سطح برگ دو رقم سینگل کراس ۷۰۴ و ماکسیما نشان داد که مدل APSIM-Maize روند شاخص سطح برگ این دو رقم را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند. به طوری که RMSE برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شهرستان کرمان به ترتیب برابر با ۱۶/۷ درصد و برای شهرستان خرم‌آباد ۹/۴۸ درصد بود. همچنین برای رقم ماکسیما در شهرستان کرمان به ترتیب برابر با ۱۶/۷۵ درصد و برای شهرستان خرم‌آباد ۱۰/۶۵ درصد بود. در نهایت این مدل با شبیه‌سازی دقیق شاخص سطح برگ و فنولوژی توانست عملکرد دانه و بیوماس را خوب شبیه‌سازی کند.

پارامترهای ژنتیکی در بین ارقام متفاوت بودند. بیشترین (۶۵۰) و کمترین (۵۴۵) بیشینه تعداد دانه در بلال به ترتیب مربوط به ارقام سینگل کراس ۷۰۴ و ۲۶۰ بود. این ارقام همچنین از نظر پارامترهای زمان دمایی جمعی از زمان گلدهی تا رسیدگی و زمان دمایی جمعی از زمان ظهور تا انتهای فاز جوانی به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار را به خود اختصاص دادند. این در حالی بود که رقم سینگل کراس ۲۶۰ فقط از نظر سرعت رشد دانه (۹/۶ میلی‌گرم در روز) نسبت به دو رقم دیگر دارای برتری بود. در نهایت در بین سه رقم، رقم سینگل کراس ۷۰۴ با ۲۱/۸۱ تن در هکتار دارای بیشترین ماده خشک تولیدی بود.

**نتیجه‌گیری:** ارزیابی مدل APSIM-Maize نشان داد که این مدل مراحل فنولوژیکی (روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی) را در ارقام مختلف (با طول دوره رسیدگی متفاوت) با دقت بالایی شبیه‌سازی می‌کند، که نشان‌دهنده ساختار مناسب مدل در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی است. همچنین در بین ارقام مختلف ذرت سینگل کراس ۷۰۴ نسبت به دو رقم دیگر دارای عملکرد ماده خشک، بیشینه تعداد دانه در بلال، زمان دمایی جمعی از زمان گلدهی تا رسیدگی و زمان دمایی جمعی از زمان ظهور تا انتهای فاز جوانی بالاتری بود.

**واژه‌های کلیدی:** شرایط پتانسیل، ماکسیما، APSIM-Maize

## مقدمه

با توجه به محدودیت‌های زمانی در اجرای مستقیم آزمایش‌های زراعی، استفاده از مدل‌های رشد برای برآورد عملکرد محصولات و بهبود مدیریت سیستم‌های کشاورزی می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در زمان شوند. با استفاده از این مدل‌ها، می‌توان به جای چند سال آزمایش در مزرعه، با کمک آمار هواشناسی بلندمدت، رفتار گیاه را با استفاده از مدل طی زمان شبیه‌سازی کرد (۴۱). مدل‌های شبیه‌سازی امکان مطالعه تأثیر مدیریت کشاورزی بر فعالیت‌های تولیدی در محیط‌های معین را فراهم می‌آورد (۴، ۲۰ و ۲۱). از این مدل‌ها برای انجام مطالعات مختلف از جمله انتخاب گیاه و رقم مناسب برای یک منطقه، تعیین خصوصیات مطلوب گیاهی، مدیریت زراعی، پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصول و تخمین عملکرد بالقوه استفاده می‌شود (۳). یکی از این مدل‌های شبیه‌سازی زراعی مدل<sup>۱</sup> APSIM می‌باشد.

شبیه‌ساز سیستم‌های تولید کشاورزی (APSIM) یک مدل شبیه‌سازی فرآیندگرای گیاه زراعی و سیستم‌های زراعی است که توسط واحد تحقیقات<sup>۲</sup> APSRU ساخته شده است (۲۵). این مدل قادر است محصول اقتصادی طیف وسیعی از گیاهان زراعی، مرتعی و درختان را در پاسخ به عوامل اقلیمی، خاکی و مدیریتی شبیه‌سازی نماید. مدل APSIM همچنین این توانایی را دارد تا انواع سیستم‌های تناوبی را نیز شبیه‌سازی کند (۴۵). این مدل دارای یک موتور شبیه‌سازی است که فرآیند شبیه‌سازی را انجام داده و ارتباط بین ماژول‌های مختلف را تسهیل می‌کند. اساس شبیه‌سازی در این مدل بر محور بودن خاک در مقایسه با گیاه زراعی استوار است، هرچند که متغیر اصلی که شبیه‌سازی می‌شود عملکرد گیاه زراعی می‌باشد. تغییر در متغیرهای وضعیت خاک مانند میزان آب و نیتروژن موجود در آن، به‌طور پیوسته و در پاسخ به عوامل آب‌وهوایی و مدیریتی شبیه‌سازی می‌شود.

برای کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی نیاز به پارامتریابی و ارزیابی مدل می‌باشد. به‌طور کلی دقت شبیه‌سازی صورت گرفته در مدل‌های شبیه‌سازی گیاه زراعی بستگی به کیفیت داده‌های مورد استفاده، به‌ویژه در قسمت پارامترهای گیاهی به‌عنوان ورودی دارد. مقادیر این پارامترها باید قبل از استفاده، از طریق آزمایش‌های مزرعه‌ای اندازه‌گیری و یا تخمین زده شوند (۲۴). ماهرو و همکاران (۲۰۱۰) در تحقیق خود در زمینه برآورد ضرایب ژنتیکی و ارزیابی مدل DSSAT برای ارقام گندم استان گلستان اظهار داشتند که یکی از دلایل دقت بالای پیش‌بینی فنولوژی توسط مدل ناشی از برآورد دقیق

1- Agricultural Production Systems simulator

2- Agricultural Production Systems Research Unit

پارامترهای گیاهی ارقام گندم بوده است (۲۳). جگو و همکاران (۲۰۱۱) تخمینی از ضرایب ارقام ذرت برای کالیبره کردن مدل<sup>۱</sup> STICS برای زمین‌های Mixedwood در کانادای شرقی را به کار بردند. این مدل یک پیش‌بینی خوبی از سطح برگ، بیوماس و عملکرد برای رقم CanMaisNE داشت (۱۹). میانگین مربعات خطا برای شاخص سطح برگ، بیوماس و عملکرد به ترتیب ۲۸/۱، ۱۷/۵ و ۱۰/۱ درصد بود. رحیمی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۵b) در تحقیقی که بر روی ضرایب ژنتیکی ارقام ذرت برای کاربرد در مدل‌های شبیه‌سازی گیاه زراعی داشتند مشخص کردند که ضرایب، کمینه درجه روز رشد برای دوره رشد رویشی و بیشینه تعداد دانه با عملکرد به ترتیب با ضریب ۰/۷۲ و ۰/۸۴ بیشترین همبستگی را دارند. نتایج این تحقیق همچنین نشان‌دهنده این موضوع بود که ضرایب ژنتیکی محاسبه شده در مدل‌های مختلف در بین ارقام متفاوت می‌باشند و به‌طور کلی ضرایب در دامنه‌ای که در مدل برای گروه‌های مختلف رسیدگی تعریف شده است تغییر می‌کنند (۳۵).

ذرت یکی از مهمترین گیاهان زراعی در دنیا محسوب می‌شود به گونه‌ای که بعد از گندم و برنج در رتبه سوم از نظر سطح زیر کشت قرار دارد (۱۷). اهمیت این محصول و بالا بودن سطح زیر کشت آن به علت قدرت تطابق آن با شرایط گوناگون اقلیمی می‌باشد و به همین دلیل جزء عمده‌ترین محصولات مناطق معتدله، معتدله گرم، نیمه‌گرمسیری و مرطوب به‌شمار می‌رود (۳۲). در ایران نیز، این گیاه پس از گندم (*Triticum aestivum* L.)، برنج (*Oryza sativa* L.) و جو (*Hordeum vulgare* L.) مهمترین گیاه زراعی بوده و بیشترین سطح زیر کشت را به خود اختصاص داده است. بر اساس آمار فائو (۲۰۱۴) سطح زیر کشت و متوسط عملکرد دانه این گیاه در کشور به ترتیب ۳۹۵۰۰۰ هکتار و ۶۵۸۲ کیلوگرم در هکتار بوده است (۱۳). بر اساس اهمیت این محصول این تحقیق به منظور برآورد پارامترهای مربوط به برخی ارقام غالب ذرت دانه‌ای در کشور برای استفاده در مدل مکانیزم‌گرای APSIM انجام شد.

## مواد و روش

معرفی مدل (APSIM- Maize): مدل APSIM توسط محققین استرالیایی طراحی شده است و از قدرت بالایی برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی برخوردار است. ماژول ذرت در این مدل، رشد و نمو ذرت را به صورت روزانه شبیه‌سازی می‌کند و به عوامل مختلف از جمله آب‌وهوا (دما، بارندگی، تابش)، خاک (آب خاک و نیتروژن خاک)، پارامترهای ژنتیکی و اطلاعات مدیریتی محصول

1- Simulateur multi-disciplinaire pour les Cultures Standard

زراعی پاسخ نشان می‌دهد (۱۴). این ماژول، با استفاده از مراحل و فازهای رشدی مختلف رشد و نمو گیاه ذرت را تعیین می‌کند. مدل APSIM همچنین از طریق ماژول‌های جداگانه خاک و آب روابط آبی و نیتروژن را شبیه‌سازی می‌کند. در زیر مدل آب، تقاضای روزانه گیاه برای آب (تقاضای تعرق) از روش ارائه شده توسط سینکلر (۱۹۸۶) و موتیث (۱۹۸۶) شبیه‌سازی شده است (۲۸ و ۳۹). بر اساس این روش تقاضای گیاه برای آب تابعی از سرعت رشد روزانه، کمبود فشار بخار و ضریب کارایی تعرق است. همچنین شبیه‌سازی نیتروژن در مدل APSIM شامل فرآیندهای جذب، انتقال و تجمع نیتروژن در گیاه، آبیویی نیتروژن، نیتریفیکاسیون و دنیتریفیکاسیون و سایر فرآیندهای مرتبط با نیتروژن در خاک می‌باشد که روزانه در هر لایه خاک شبیه‌سازی می‌شوند. فرآیند جذب نیتروژن توسط گیاه نیز همانند جذب آب، بر اساس رویه عرضه و تقاضا برآورد می‌شود.

**تعیین پارامترهای مختص ارقام و ارزیابی مدل:** برای استفاده از مدل ابتدا لازم است مدل پارامتریابی و ارزیابی شود. برای پارامتریابی مدل از چندین مجموعه داده‌های مستقل که تمام اندازه‌گیری‌های آن‌ها در شرایط پتانسیل بود استفاده شد (جدول ۱). به این صورت که برای رقم زودرس سینگل کراس ۲۶۰ یک مجموعه داده چهار ساله (۳۶) به کار برده شد. همچنین برای رقم‌های دیررس (سینگل کراس ۷۰۴) و متوسط‌رس (ماکسیما) از داده‌های دو منطقه (کرمان و خرم‌آباد) که هر کدام در یکسال انجام شده بودند استفاده شد (۲۲ و ۳۳). مبنای انتخاب این ارقام نیز بیشترین سطح زیر کشتی بود که هر کدام از این ارقام در بین گروه رسیدگی خود در سطح کشور داشتند (۴۱). با استفاده از این مجموعه داده‌ها بیوماس، عملکرد دانه، تعداد روز از سبز شدن تا گلدهی، تعداد روز از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی و شاخص سطح برگ (به‌علت نبود اطلاعات این صفت برای رقم سینگل کراس ۲۶۰ فقط برای رقم‌های ماکسیما و سینگل کراس ۷۰۴ پارامتریابی شد) برای هر رقم پارامتریابی شد. در نهایت مقدار پارامترهای ویژه هر رقم که از طریق پارامتریابی مدل به‌دست آمد در جدول (۲) نشان داده شده است. برای این منظور ابتدا زمان‌های حرارتی مربوط به ضرایب ژنتیکی با توجه به داده‌های مزرعه‌ای محاسبه شدند. سپس با توجه به این زمان‌های حرارتی حاصل از داده‌های مزرعه‌ای واسنجی انجام شد. برای به‌دست آوردن این زمان‌های دمایی (که از داده‌های مزرعه‌ای استفاده شده است) از دماهای کاردینال ذرت استفاده شد. در ادامه داده‌های اندازه‌گیری شده مانند ماده خشک، سطح برگ و فنولوژی (در سطح مزرعه) توسط مدل نیز شبیه‌سازی و چنانچه مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی شده با یک درصد خطای قابل قبولی (خطای قابل قبول در این تحقیق RMSE کمتر از ۲۰ درصد در نظر گرفته شد (۸)) به یکدیگر نزدیک بودند، به‌عنوان مقدار پارامتر در مدل در نظر گرفته شد و اگر درصد خطا بالا بود، مقدار پارامتر به

دفعات تغییر داده شد تا زمانی که مقدار صفت مربوط به آن پارامتر به مقدار شبیه‌سازی شده نزدیک شود و دقت شبیه‌سازی دارای درصد خطای قابل قبولی شد (این تغییر در مقدار پارامتر در دامنه‌ای که در مدل برای گروه‌های مختلف رسیدگی تعریف کرده است صورت گرفت).

جدول ۱- مجموعه داده‌های مورد استفاده برای پارامتریابی مدل.

Table 1. Used data set for calibration of the model.

رقم Cultivar	منطقه Location	سال Year	عرض جغرافیایی Latitude	منبع Reference
K.SC 704	کرمان	۱۳۹۳	30.25	(22)
	Kerman	2014		
	خرم‌آباد	۱۳۹۱	33.43	(33)
Maxima	کرمان	۱۳۹۳	30.25	(22)
	Kerman	2014		
	خرم‌آباد	۱۳۹۱	33.43	(33)
K.SC 260	شیراز	۱۳۸۶، ۱۳۸۷، ۱۳۹۰، ۱۳۹۱	29.53	(36)
	Shiraz	2007, 2008, 2011, 2012		

جدول ۲- مقدار پارامترهای ویژه هر رقم که از طریق پارامتریابی مدل به دست آمد.

Table 2. Cultivar-specific parameters of the cultivars obtained from model calibration.

پارامتر Parameter	رقم Cultivar			واحد Unit
	K.SC 704	Maxima	K.SC 260	
زمان دمایی تجمعی از زمان گلدهی تا رسیدگی Thermal time accumulation from flowering to maturity	1000	940	780	درجه روز رشد °Cd
بیشینه تعداد دانه در بلال Maximum number of grains per head	650	580	545	-
زمان دمایی تجمعی از زمان ظهور سبزشدن تا انتهای فاز جوانی Thermal time accumulation from seedling emergence to end of juvenile phase	270	250	225	درجه روز رشد °Cd
سرعت رشد دانه Grain growth rate	8.5	9.3	9.6	میلی‌گرم در روز mg kernel <sup>-1</sup> d <sup>-1</sup>
زمان دمایی تجمعی از زمان ظهور برگ پرچم تا مرحله گلدهی Thermal time accumulate on from flag leaf appearance to flowering	50	50	10	درجه روز رشد °Cd
زمان دمایی تجمعی از زمان گلدهی تا شروع پر شدن دانه Thermal time accumulation from flowering to start of grain filling	120	120	120	درجه روز رشد °Cd

جدول ۳- مجموعه داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی رقم‌های سینگل کراس ۷۰۴ و ۲۶۰.

Table 3. Used data set for validation of the K.SC 704 and K.SC 704 260 cultivars.

منطقه Location	رقم Cultivar	عرض جغرافیایی Latitude	سال Year	تیمارها Treatments	منبع Reference
K.SC 704	زرقان Zarghan	29.78	2006, 2007	تاریخ کاشت Planting date	(12)
			2005, 2006, 2007	ژنوتیپ، تاریخ کاشت Genotype, planting date	(6)
	شیراز Shiraz	29.53	2007	محدودیت منبع (تیمار کنترل استفاده شد) Source Restriction (control treatment is used)	(11)
	گرگان Gorgan	36.9	2004, 2005	تراکم گیاهی Plant density	(35)
			2008	تراکم گیاهی، تاریخ کاشت Plant density, planting date	(28)
	میانه Mianeh	37.45	1999	فاصله روی ردیف، تراکم گیاهی Row spacing and plant density	(38)
	کرج Karaj	35.91			
	مغان Moghan	39.65			
	قرانخیل Gharakhil	36.45			
	اصفهان Esfahan	32.61			
	شیراز Shiraz	29.53	2012	منطقه Location	(5)
	گرگان Gorgan	36.9			
	کرمانشاه Kermanshah	34.35			
	جیرفت Jiroft	28.58			
ایلام Ilam	33.63				
K.SC 260	زرقان Zarghan	29.78	2005, 2006, 2007	ژنوتیپ، تاریخ کاشت Genotype, planting date	(6)
			2008	ژنوتیپ Genotype	(18)
	مشهد Mashhad	36.26	2006	ژنوتیپ، تراکم گیاهی Genotype, plant density	(15)
			2005	تراکم گیاهی، تاریخ کاشت Plant density, planting date	(30)

برای ارزیابی مدل از یکسری مجموعه داده دیگر شامل مقالات چاپ شده در مجلات و همچنین گزارشات نهایی طرح‌های تحقیقاتی انجام شده استفاده شد (جدول ۳). این مجموعه داده‌ها مربوط به مناطق مختلف ایران با تیمارهای متفاوت و روش‌های مدیریتی مختلف بودند. در این قسمت به علت این‌که تحقیقاتی بر روی رقم ماکسیما (یک رقم وارداتی) صورت نگرفته و اطلاعاتی برای ارزیابی این رقم وجود نداشت ارزیابی این رقم انجام نشد و به همان پارامتریابی این رقم اکتفا نموده شد.

**تجزیه و تحلیل‌های آماری:** برای ارزیابی مدل و مقایسه مقدارهای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده گلدهی، رسیدگی فیزیولوژیکی، شاخص سطح برگ، بیوماس و عملکرد دانه از شاخص‌های آماری ضریب تبیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (۴۴) و شاخص توافق ( $d$  value) (۴۶) با توجه به رابطه‌های زیر استفاده شد:

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\bar{O}} \quad \text{معادله ۱}$$

$$d = 1.0 - \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad \text{معادله ۲}$$

در این معادلات  $S$  داده شبیه‌سازی شده،  $O$  داده مشاهده شده،  $\bar{O}$  میانگین داده مشاهده شده و  $n$  تعداد مشاهدات می‌باشد. در زمینه دقت شبیه‌سازی مدل هنگامی که جذر میانگین مربعات خطا به سمت صفر میل کند این دقت افزایش می‌یابد و همچنین نزدیک بودن شاخص توافق به عدد یک نشان دهنده دقت بالای مدل در شبیه‌سازی می‌باشد (۷). در این تحقیق برای تمامی تجزیه‌های آماری و رسم شکل‌ها از نرم‌افزار OriginPro 9.1 (۳۹) استفاده گردید.

## نتایج و بحث

روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی: نتایج حاصل از ارزیابی مدل در مراحل گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی سه رقم در سال‌ها و مناطق مختلف نشان داد که مدل با دقت خوبی مراحل مذکور را شبیه‌سازی نموده است (جدول ۴)، به طوری که RMSE و  $d$  value به‌عنوان شاخص‌های کارکرد مدل برای روز تا گلدهی به ترتیب برابر ۱ درصد و ۰/۹۹ و برای روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی برابر ۱/۳۵ درصد و ۰/۹۸ بود (جدول ۴). با توجه به نقش مهمی که مراحل فنولوژی در مدیریت مزرعه (آبیاری، مصرف کود و دیگر نهاده‌ها) برای دستیابی به حداکثر تولید محصول دارند به نظر



می‌رسد مدل APSIM-Maize می‌تواند با پیش‌بینی مراحل فنولوژی در اقلیم‌های متفاوت به‌عنوان یک ابزار برای مدیریت مزرعه مورد استفاده قرار گیرد. آرایا و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود بر روی بررسی رشد و عملکرد ذرت با استفاده از مدل‌های گیاهی نشان دادند که مدل APSIM-Maize زمان گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی را به‌ترتیب با جذر میانگین مربعات خطا  $3/7$  و  $3/1$  روز با دقت بالایی شبیه‌سازی کرد (۱). پیش‌بینی نمو فنولوژیک یا مراحل نمو گیاه اهمیت زیادی دارد چون تولید و توزیع ماده خشک در مدل‌های شبیه‌سازی زراعی تا حدود زیادی تحت تأثیر زمان وقوع مراحل فنولوژی می‌باشد. به همین ترتیب، ممکن است پیش‌بینی تغییرات سطح برگ و سایر فرآیندها به پیش‌بینی نمو فنولوژیک وابسته باشند. مدل‌سازی نمو فنولوژیک در مقایسه با سایر فرآیندها نسبتاً مشکل‌تر است زیرا تفاوت بین گونه‌ها و ارقام زیاد است، انواع واکنش‌های متفاوت وجود دارد و اطلاعات کمی زیادی نیز وجود ندارد (۴۲). در مدل APSIM-Maize فاصله بین گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی به وسیله یک پارمتر درجه روز رشد محاسبه می‌شود (جدول ۲). در مقابل فاصله بین سبز شدن تا گلدهی نیاز به محاسبات دشوارتری از جمله زیر مرحله‌ها و حساسیت به فتوپریود دارد. این مرحله نیاز به پارمترهایی از جمله (۱) زمان دمایی تجمعی از سبز شدن تا پایان جوانی، (۲) سرعت ظهور برگ و تعداد برگ (۳) حساسیت به فتوپریود و (۴) زمان دمایی تجمعی از زمان ظهور برگ پرچم تا مرحله گلدهی (۲۱). در مدل APSIM-Maize با توجه به این‌که پارامترهای فراوانی از سبز شدن تا گلدهی در نظر گرفته شده است، بنابراین پیش‌بینی مرحله گلدهی با دقت بالایی صورت می‌گیرد. پیش‌بینی دقیق این مرحله می‌تواند موجبات پیش‌بینی دقیق پارامتر ژنتیکی زمان دمایی تجمعی از زمان گلدهی تا رسیدگی (جدول ۲) و سایر پارامترها و روابط که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود را فراهم آورد.

در بین ارقام مختلف رقم سینگل کراس ۷۰۴ با ۱۰۰۰ درجه رشد رشد بیشترین مقدار زمان دمایی تجمعی از زمان گلدهی تا رسیدگی را داشت (جدول ۲). همچنین کمترین مقدار این پارامتر با ۷۸۰ درجه روز رشد مربوط به رقم سینگل کراس ۲۶۰ بود (جدول ۲). از نظر زمان دمایی تجمعی از زمان ظهور تا انتهای فاز جوانی بیشترین (۲۷۰ درجه روز رشد) و کمترین (۲۲۵ درجه روز رشد) مقدار این پارامتر به‌ترتیب مربوط به سینگل کراس ۷۰۴ و ۲۶۰ بود (جدول ۲). این اختلاف با توجه گروه‌های مختلف رسیدگی طبیعی به‌نظر می‌رسد. دوایر و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعات خود دریافتند که میزان درجه روز رشد از کاشت تا رسیدگی فیزیولوژیک در هیبریدهای دیررس بیشتر از هیبریدهای میان‌رس

و زودرس است و نتیجه گرفتند که هیبریدهای دیررس طی فصل رشد به درجه روز رشد بیشتری برای تکمیل دوره رشد رویشی نیاز دارند (۱۰).

جدول ۴- نتایج پارامتریابی مدل APSIM-Maize برای ارقام ذرت در مناطق مختلف.

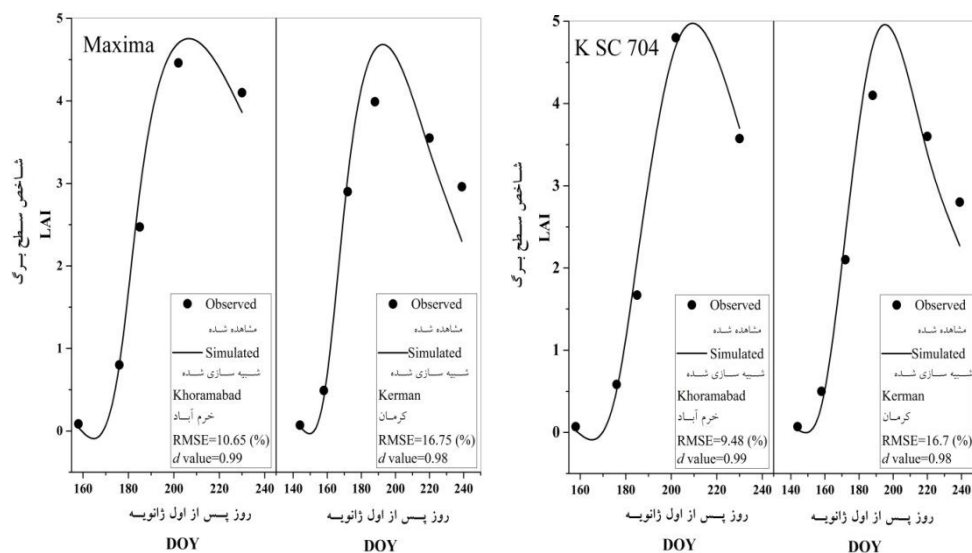
Table 4. Results of APSIM-Maize model parametrization for maize cultivars in different Location.

رقم Cultivar	منطقه Location	تاریخ کاشت Sowing date	روز تا گلدهی (روز پس از اول ژانویه) Days to flowering (DOY)		روز تا رسیدگی (روز پس از اول ژانویه) Days to maturing (DOY)		ماده خشک (تن در هکتار) Biomass (t ha <sup>-1</sup> )	
			مشاهده شده Observed	شبیه‌سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه‌سازی شده Simulated	مشاهده شده Observed	شبیه‌سازی شده Simulated
K.SC 704	کرمان	سیزده اردیبهشت ۱۳۹۳ 3 <sup>th</sup> May (2014)	192	192	253	255	26.95	27.69
	خرم‌آباد	اول خرداد ۱۳۹۱ 21 <sup>th</sup> May (2012)	207	209	267	260	24.46	25.12
Maxima	کرمان	سیزده اردیبهشت ۱۳۹۳ 3 <sup>th</sup> May (2014)	188	189	245	249	26.2	25.62
	خرم‌آباد	اول خرداد ۱۳۹۱ 21 <sup>th</sup> May (2012)	202	205	258	254	24.22	24.78
K.SC 260	شیراز	پانزده خرداد ۱۳۸۶ 5 <sup>th</sup> June (2007)	212	211	255	258	19.37	19.08
		بیست و پنج خرداد ۱۳۸۶ 15 <sup>th</sup> June (2007)	221	223	265	267	18.73	19.44
		پانزده خرداد ۱۳۸۷ 5 <sup>th</sup> June (2008)	213	212	256	259	19	18.86
		بیست و پنج خرداد ۱۳۸۷ 15 <sup>th</sup> June (2008)	222	225	266	270	18.33	18.69
		هیجده تیر ۱۳۹۰ 9 <sup>th</sup> July (2011)	243	245	293	299	18.54	19.23
		پانزده تیر ۱۳۹۱ 5 <sup>th</sup> July (2012)	244	248	293	295	19.17	19.67
Mean			215.9	214.4	266.6	265.1	21.81	21.49
RMSE (%)				1		1.35		2.99
d value				0.99		0.98		0.99
n				10		10		10

شاخص سطح برگ: نتایج ارزیابی مدل در شبیه‌سازی روند شاخص سطح برگ دو رقم سینگل کراس ۷۰۴ و ماکسیما نشان داد که مدل APSIM-Maize روند شاخص سطح برگ این دو رقم را به خوبی

شبیه‌سازی می‌کند. به طوری که RMSE و  $d$  value برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شهرستان کرمان به ترتیب برابر با ۱۶۷ درصد و ۰/۹۸ و برای شهرستان خرم‌آباد ۹/۴۸ درصد و ۰/۹۹ بود. همچنین برای رقم ماکسیما در شهرستان کرمان به ترتیب برابر با ۱۶۷/۷۵ درصد و ۰/۹۸ و برای شهرستان خرم‌آباد ۱۰/۶۵ درصد و ۰/۹۹ بود (شکل ۱). در مدل APSIM پیش‌بینی دقیق شاخص از طریق دریافت تشعشع و تأثیر بر کارایی مصرف تشعشع (۲۱) بر روی پیش‌بینی دقیق ماده خشک (همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود RMSE و  $d$  value برای ماده خشک به ترتیب برابر با ۲/۹۹ درصد و ۰/۹۹ بود) تأثیر می‌گذارد. مجموع این عوامل (پیش‌بینی دقیق شاخص سطح برگ و ماده خشک) می‌تواند موجبات پیش‌بینی دقیق عملکرد دانه را فراهم آورد. مسفین و همکاران (۲۰۱۵) در تحقیق خود بر روی پارامتریابی و ارزیابی مدل APSIM-Maize تحت تیمارهای نیتروژن و تاریخ کاشت، نشان دادند که این مدل شاخص سطح برگ را به خوبی شبیه‌سازی کرد، همچنین این مدل دقت بالایی در شبیه‌سازی بیوماس، فنولوژی و عملکرد داشت (۲۶). برای پیش‌بینی دقیق شاخص سطح برگ در این مدل عواملی از جمله فنولوژی، سرعت ظهور برگ و استرس‌های نیتروژن و آب دخیل هستند (۲). در شرایط پتانسیل با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای مربوط به سرعت ظهور برگ (۵ پارامتر مربوط به سرعت ظهور برگ می‌باشد، برای مشاهده به فایل Maize.xml مدل مراجعه شود) می‌توان از طریق پارامترهای مربوط به فنولوژی (جدول ۲) تعداد برگ را پیش‌بینی نمود (G.L. Hammer, personal comm.) و از این طریق (پیش‌بینی دقیق فنولوژی) می‌توان پیش‌بینی دقیقی از شاخص سطح برگ در مدل داشت.

در بین ارقام سینگل کراس ۷۰۴ و ماکسیما از نظر بیشینه شاخص سطح برگ رقم سینگل کراس ۷۰۴ با در کرمان با مقدار ۴/۱ و در خرم‌آباد با ۴/۷ نسبت به رقم ماکسیما برتری داشت (شکل ۱). نتایج عملکرد ماده خشک نیز مؤید این اختلاف بود به طوری که عملکرد ماده خشک در رقم سینگل کراس ۷۰۴ با مقدارهای ۲۷/۶۹ و ۲۵/۱۲ به ترتیب در کرمان و خرم‌آباد نسبت به ماکسیما دارای برتری بود (جدول ۴). نتایج رحیمی مقدم و همکاران (۲۰۱۵a) نیز مؤید آن است که میزان شاخص سطح برگ در ارقام مختلف متفاوت می‌باشد و همبستگی معنی‌داری بین شاخص سطح برگ و عملکرد بیولوژیک وجود دارد (۳۴).



شکل ۱- پارامتریابی روند شاخص سطح برگ برای رقم‌های ماکسیمما و سینگل کراس ۷۰۴.

Figure 1. Calibration of leaf area index trend for the Maxima and K.SC 704 260 cultivars.

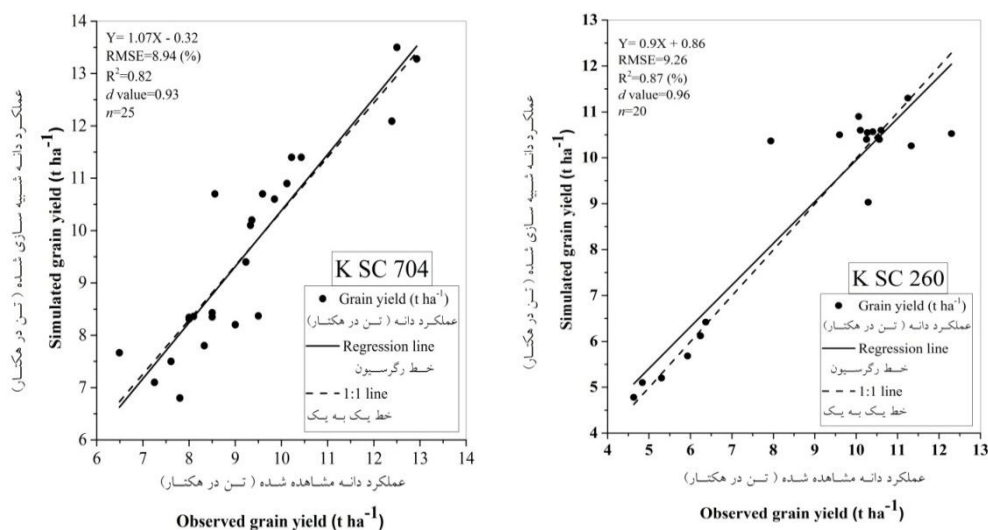
**عملکرد ماده خشک:** نتایج ارزیابی مدل تحت مناطق، ارقام و همچنین سال‌های مختلف مشخص کرد که دقت مدل در حد قابل قبولی قرار دارد به طوری که مقادیر  $RMSE$  و  $d$  value به عنوان شاخص‌های ارزیابی کارکرد مدل برای عملکرد ماده خشک ۲/۹۹ درصد و ۰/۹۹ به دست آمد (جدول ۴). همان‌طور که در جدول (۴) مشخص می‌باشد مدل عملکرد ماده خشک را با میانگین ۲۱/۸۱ تن در هکتار نسبت به میانگین مشاهده شده (۲۱/۴۹ تن در هکتار) بیشتر شبیه‌سازی کرده است. علت این موضوع را می‌توان به شبیه‌سازی بیشتر روز تا گلدهی توسط مدل نسبت به مقدار مشاهده شده دانست (جدول ۴). در واقع گیاهانی که دارای توانایی رشد رویشی بالاتر به علت تولید مواد فتوسنتزی بیشتر دارای عملکرد ماده خشک بالاتر هستند (۴۳). با این وجود همان‌طور که قبلاً بیان شد پیش‌بینی عملکرد ماده خشک توسط مدل از دقت بالایی برخوردار بود از عواملی که در این زمینه مؤثر می‌باشد پیش‌بینی دقیق شاخص سطح برگ توسط مدل می‌باشد. اساس شبیه‌سازی ماده خشک در مدل APSIM تابعی از میزان تشعشع دریافت شده توسط بوته و کارایی مصرف تشعشع استوار است (۲۱). میزان تشعشع دریافت شده توسط بوته نیز تابعی از شاخص سطح برگ و ضریب استهلاک نوری است که دومی تابعی از ساختار کانوپی است. در واقع پیش‌بینی دقیق عملکرد خشک توسط مدل APSIM بر پایه پیش‌بینی دقیق شاخص سطح برگ (شکل ۱) می‌باشد (۱۶).

اختلاف عملکرد ماده خشک در بین ارقام مختلف نیز قابل مشاهده می‌باشد. به طوری که رقم سینگل کراس ۷۰۴ به عنوان رقم دیررس با تولید ۲۶/۹۵ و ۲۴/۴۶ تن ماده خشک در هکتار (به ترتیب در کرمان و خرم‌آباد) نسبت به دو رقم دیگر دارای برتری بود (جدول ۴). از عوامل موثر بر برتری این رقم می‌توان همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد به شاخص سطح برگ بالای آن اشاره نمود. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود این رقم از نظر زمان دمایی تجمعی از زمان ظهور تا انتهای فاز جوانی با ۲۷۰ درجه روز رشد بیشترین مقدار این پارامتر را به خود اختصاص داد در حالی که رقم سینگل کراس ۲۶۰ با ۲۲۵ درجه روز رشد کمترین مقدار این پارامتر را بخود اختصاص داد (جدول ۲). با افزایش طول دوره رشد رویشی ماده خشک تولیدی نیز افزایش می‌یابد و این موضوع به وسیله بسیاری از محققان گزارش شده است (۳۵، ۴۳).

**عملکرد دانه:** نتایج ارزیابی مدل برای دو رقم سینگل کراس ۷۰۴ و ۲۶۰ نشان داد که مدل دقت خوبی در شبیه‌سازی عملکرد دانه دارد، به طوری که مقادیر  $RMSE$ ،  $d$  value و  $R^2$  برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ به ترتیب ۸/۹۴ درصد، ۰/۹۳ و ۰/۸۲ بود، همچنین مقدارهای این شاخص‌های ارزیابی مدل برای رقم سینگل کراس ۲۶۰ به ترتیب برابر با ۹/۲۶ درصد، ۰/۹۶ و ۰/۸۷ بود (شکل ۲). در این ارزیابی همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شد از تیمارهای مختلف مانند تاریخ کاشت، تراکم گیاهی و مناطق مختلف استفاده شد. در واقع مدل با توجه به شرایط مختلف، شبیه‌سازی عملکرد دانه را با دقت خوبی انجام می‌دهد و این موضوع نشان‌دهنده پارامترسنجی دقیق مدل برای هر رقم می‌باشد. ارزیابی دقیق نیازمند پارامتریابی دقیق مدل می‌باشد (۲۴). در زمینه شبیه‌سازی دقیق عملکرد دانه پارامترهای مختلفی تاثیرگذار هستند از جمله این پارامترها می‌توان به پارامترهای فنولوژیکی (پارامترهایی است که مربوط مراحل نموی گیاه هستند) اشاره کرد. در واقع تعیین زمان دقیق مراحل فنولوژیکی برای شبیه‌سازی رشد اندام‌های گیاهی و در نهایت عملکرد دانه دارای اهمیت بسیاری است. چون میزان تسهیم مواد فتوسنتزی بین اندام‌های رویشی و زایشی (ضرایب تخصیص) متناسب با مراحل نموی گیاه انجام می‌گیرد. از این رو پیش‌بینی دقیق مراحل فنولوژی برای ارقام مختلف برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه ضروری است (۳۱). همان‌طور که در قسمت‌های قبلی اشاره شد مدل توانست زمان مراحل فنولوژیکی گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی را با دقت بالای شبیه‌سازی کند (جدول ۴) و همین عامل خود باعث شبیه‌سازی دقیق عملکرد دانه توسط مدل شده است. علاوه بر این در مدل APSIM-Maize دو پارامتر ژنتیکی بیشینه تعداد دانه در بلال و سرعت رشد دانه (جدول ۲) به طور

مستقیم بر روی عملکرد دانه تاثیرگذار است (۱۶) و دقت اندازه‌گیری بالای این دو پارامتر می‌تواند موجبات پیش‌بینی دقیق عملکرد دانه را فراهم آورد.

در بین دو رقم سینگل کراس ۷۰۴ و ۲۶۰ با توجه به شکل (۲) رقم سینگل کراس ۷۰۴ دارای عملکرد بالاتری نسبت به رقم سینگل کراس ۲۶۰ هست. از عوامل که به طور مستقیم بر عملکرد دانه تاثیرگذار هستند می‌توان به زمان دمایی تجمعی از زمان گلدهی تا رسیدگی، بیشینه تعداد دانه در بلال و سرعت رشد دانه اشاره کرد. رقم زودرس سینگل کراس ۲۶۰ با سرعت رشد دانه ۹/۶ میلی‌گرم در روز نسبت به رقم دیررس سینگل کراس ۷۰۴ (۸/۵ میلی‌گرم در روز) دارای برتری بود (جدول ۲). با وجود سرعت رشد دانه بالاتر سینگل کراس ۲۶۰ ولی عملکرد آن نسبت به سینگل کراس ۷۰۴ کمتر است. علت این موضوع را می‌توان در طول دوره پر شدن دانه و تعداد دانه در بلال دانست به طوری که رقم سینگل کراس ۷۰۴ با ۶۵۰ تعداد دانه در بلال نسبت به رقم سینگل کراس ۲۶۰ (۵۴۵) دارای برتری بود، همچنین این رقم برتری خود را (۱۰۰۰ درجه روز رشد) در پارامتر زمان دمایی تجمعی از زمان گلدهی تا رسیدگی (طول دوره پر شدن دانه) نسبت به رقم سینگل کراس ۲۶۰ (۷۸۰ درجه روز رشد) نشان داد (جدول ۲). این نتایج با نتایج رحیمی‌مقدم و همکاران (۲۰۱۵b) مطابقت دارد (۳۵).



شکل ۲- ارزیابی عملکرد دانه دو رقم سینگل کراس ۲۶۰ و ۷۰۴.

Figure 2. Validation of grain yield for the K.SC 704 and K.SC 260 cultivars.

### نتیجه‌گیری کلی

ارزیابی مدل APSIM-Maize نشان داد که این مدل مراحل فنولوژیکی (روز تا گلدهی و روز تا رسیدگی فیزیولوژیکی) را در ارقام مختلف (با طول دوره رسیدگی متفاوت) با دقت بالایی شبیه‌سازی می‌کند، که نشان‌دهنده ساختار مناسب مدل در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی است. بنابراین این مدل می‌تواند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی مزرعه (مانند انتخاب تاریخ کاشت، زمان کوددهی و غیره) مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور کلی نتایج آزمایش مشخص کرد که این مدل با شبیه‌سازی دقیق شاخص سطح برگ و مراحل فنولوژیکی در نهایت شبیه‌سازی نسبتاً دقیقی در بیوماس و عملکرد دانه نشان می‌دهد و اگر پارامترسنجی مدل برای هر رقم به‌خوبی انجام شود می‌توان به نتایج مدل اعتماد نمود. نتایج همچنین نشان داد که در بین ارقام مختلف ذرت سینگل کراس ۷۰۴ دارای عملکرد ماده خشک بالاتری می‌باشد. همچنین این رقم از نظر اکثر پارامترهای ژنتیکی دارای برتری بود. در این تحقیق پارامترهای به‌دست آمده از طریق پارامتریابی و ارزیابی مدل، می‌تواند در تحقیقات بعدی در زمینه ارزیابی تغییر اقلیم، آنالیز خلاء عملکرد، پهنه‌بندی و غیزه مورد استفاده سایر محققین این حوزه قرار گیرد.

### منابع

1. Araya, A., Hoogenboom, G., Luedeling, E., Hadguc, K.M., Kisekkaf, I., and Martorano, L.G. 2015. Assessment of maize growth and yield using crop models under present and future climate in southwestern Ethiopia. *Agr. Forest. Meteorol.*, 214: 252-265.
2. Archontoulis, S.V., Miguez, F.E., and Moore, K.J. 2014. Evaluating APSIM maize, soil water, soil nitrogen, manure, and soil temperature modules in the Midwestern United States. *Agron. J.*, 106(3): 1025-1040.
3. Borrás, L., and Otegui, M.E. 2001. Maize kernel weight response to post-flowering source – sink ratio. *Crop Sci.*, 41: 1816 – 1822.
4. Brisson, N., Gary, C., Justes, E., Roche, R., Mary, B., Ripoche, D., Zimmer, D., Sierra, J., Bertuzzi, P., Burger, P., Bussiere, F., Cabidoche, Y.M., Cellier, P., Debaeke, P., Gaudillere, J.P., Henault, C., Maraux, F., Seguin, B., and Sinoquet, H. 2003. An overview of the crop model STICS. *Eur. J. Agron.*, 18: 309– 332.
5. Choukan, R. 2013. Final report of yield trial and adaptability of late and medium maturing promising hybrids of maize (final stage). Seed and Plant Improvement Institute. Iran, 50p.

6. Dehghanpour, Z., and Estakhr, A. 2010. Determination of the suitable planting date for new early maturity maize hybrids in second cropping in temperate regions in Fars province. *Seed Plant Prod. J.*, 26 (2): 169-191. (In Persian)
7. Deihimfard, R., Mahallati, M.N., and Koocheki, A. 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. *Field Crops Res.*, 184: 28-38.
8. Dettori, M., Cesaraccio, C., Motroni, A., Spano, D., and Duce, P. 2011. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy. *Field Crops Res.*, 120: 179–188.
9. Diepenbrock, W. 2000. Yield analysis of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.): A review. *Field Crops Res.*, 67: 35- 49.
10. Dwyer, L.M., Evanson, L., Hamilton, R.I. 2003. Maize physiological traits related to grain yield and harvest moisture in mid-to-short season environments. *Crop Sci.*, 34: 985-992.
11. Emam Y., Sedaghat, M., and Bahrani, H. 2013. Responses of maize (SC704) yield and yield components to source restriction. *Iran Agric. Res.*, 32(1): 31 -40.
12. Estakhr, A., and Choukan, R. 2011. Effect of planting date on grain yield and its components and reaction to important maize viruses in Fars Province in some exotic and Iranian maize hybrids. *Seed Plant Prod. J.*, 27(3): 313-333. (In Persian)
13. FAO (Food and Agriculture Organization). 2014. FAOSTAT. Available online at: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E>
14. Fosu-Mensah, B.Y., MacCarthy, D.S., Vlek, P.L.G., and Safo, E.Y. 2012. Simulating impact of seasonal climatic variation on the response of maize (*Zea mays* L.) to inorganic fertilizer in sub-humid Ghana. *Nutr Cycl Agroecosyst.*, 94: 255–271.
15. Goldani, M., Rezvani, M.P., Nassiri, M.M., and Kaffi, M. 2011. Radiation use efficiency and phenological and physiological characteristics in hybrids of maize (*Zea may* L.) on response to different densities. *Iran. J. Agric. Res.*, 7(2): 595- 604. (In Persian)
16. Hammer, G.L., Van Oosterom, E., McLean, G., Chapman, S.C., Broad, I., Harland, P., and Muchow, R.C. 2010. Adapting APSIM to model the physiology and genetics of complex adaptive traits in field crops. *J. Exp. Bot.* 61(8): 2185–2202.
17. Harris, D., Rashid, A., miraj, G., Arif, M., and Shah, H. 2007. On farm seed priming with zinc sulphate solution: A cost effect way to increase the maize yields of resource-poor farmers. *Field Crops Res.*, 102: 119-127.
18. Hasanzadeh, M.H., and Dehghanpour, Z. 2010. Final report of the study of yield and compatibility in early maturity maize hybrids. Center of Agriculture research and nature resources of Khorasan Razavi province. Iran, 22p.



19. Jago, G., Pattey, E., Bourgeois, G., Drury, C.F., and Tremblay, N. 2011. Evaluation of the STICS crop growth model with maize cultivar parameters calibrated for Eastern Canada. *Agr. Sust. Dev.*, 31: 557– 570.
20. Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J., and Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. *Eur. J. Agron.*, 18: 235- 265.
21. Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N.G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J.P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K.L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R.L., Freebairn, D.M., and Smith, C.J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *Eur. J. Agron.*, 18: 267– 288.
22. Madadzadeh, M. 2016. Simulate growth and yield of different maize cultivars in Kerman province using the APSIM model. Ph.D. Dissertation, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. Unpublished. (In Persian)
23. Mahru, A.H., Soltani, A., Galeshi, S., and Kalate-Arabi, M. 2010. Estimates of genetic coefficients and evaluation of DSSAT model for Golestan province. *EJCP.*, 3(2): 229-253. (In Persian)
24. Makowski, D., Naud, C., Jeffroy, M.H., Barbtin, A., and Monod, H. 2006. Global sensitivity analysis for calculating the contribution of genetic parameters to the variance of crop model prediction. *Reliab. Eng. Syst. Safe.*, 91: 1142-1147.
25. McCown, R.L., Hammer, G.L., Hargreaves, J.N.G., Holzworth, D., and Huth, N.I. 1995. APSIM: an agricultural production system simulation model for operational research. *Math. Comput. Simulat.*, 39(3): 225-231.
26. Mesfin, T., Moeller, C., Parsons, D., and Meinke, H. 2015. Maize (*Zea mays* L.) productivity as influenced by sowing date and nitrogen fertiliser rate at Melkassa, Ethiopia: parameterisation and evaluation of APSIM-Maize. 17<sup>nd</sup> Australian Society of Agronomy Conference. Hobart. Sep., 20- 24. 1- 4.
27. Ministry of Agriculture Jihad, 2014. Final report of planting maize in 2014, with province separation. Agronomy Department, Ministry of Agriculture Jihad, Iran. (In Persian)
28. Moeinirad, A., Pirdashti, H., Eaghanehpour, F., and Mokhtarpour, H. 2013. Effect of sowing date and plant density on phenology, morphology and yield of Maize cv. KSC704 in Gorgan. *J. Res. Crop Sci.*, 19: 41- 56. (In Persian)
29. Monteith, J.L. 1986. How do crops manipulate water supply and demand? *Philos. Trans. A. Math. Phys. Eng. Sci.*, 316: 245–259.
30. Naderi, F., Siadat, S.A., and Rafiee, M. 2010. Effect of planting date and plant density on grain yield and yield components of two maize hybrids as second crop in Khorram Abad. *Iran. J. Crop Sci.*, 12(1): 31- 41. (In Persian)

31. Nassiri, M.M. 2008. Modeling Crop Growth Processes. Mashhad Univ. Press, 280p. (In Persian)
32. Paliwal, R.L., Granados, G., Lafitte, H.R., Violic, A.D., and Marathée, J.P. 2000. Tropical Maize: Improvement and Production. FAO, Rome, Italy, 374p.
33. Rahimi Moghaddam, S. 2013. Determination of genetic coefficients of some maize (*Zea mays* L.) cultivars in Iran to be applied in crop simulation models. M.Sc. Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran., 88p. (In Persian)
34. Rahimi Moghaddam, S., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Kambouzia, J., Nazariyan Firuzabadi, F., and Eyni Nargeseh, H. 2015a. The effect of sowing date on grain yield, yield components and growth physiological indices of six grain maize cultivars in Iran. *J. Agroecol.*, 5(1): 72- 83. (In Persian)
35. Rahimi Moghaddam, S., Deihimfard, R., Soufizadeh, S., Kambouzia, J., Nazariyan Firuzabadi, F., and Eyni Nargeseh, H. 2015b. Determination of genetic coefficients of some maize (*Zea mays* L.) cultivars of Iran for application in crop simulation models. *Iran. J. Field Crops Res.*, 13(2): 328-339 (In Persian)
36. Research Center for Agriculture and Natural Resources of Fars Province, 2016. Series reports of yield and stability in early maturity maize hybrids in 2007, 2008, 2011 and 2012.
37. Saberi, A., Ghoshchi, F., Sirani, S., and Safahani, A. 2008. Effect of Plant Density and Planting Pattern on Grain Yield of Maize cv. KSC704 in Gorgan. *Plant Ecosys. J.*, 19: 96-111. (In Persian)
38. Salehi, B. 2005. Effect of row spacing and plant density on grain yield and yield components in maize (cv. Sc 704) in Miyaneh. *Iran. J. Crop Sci.*, 6(4): 383-395. (In Persian)
39. Seifert, E. 2014. OriginPro 9.1: Scientific Data Analysis and Graphing Software—Software Review. *J. Chem. Inf. Model.*, 54(5): 1552–1552.
40. Sinclair, T.R. 1986. Water and nitrogen limitations in soybean grain production I. Model development. *Field Crops Res.*, 15(2): 125-141.
41. Soltani, A., and Hoogenboom, G. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crops Res.*, 103: 198- 207.
42. Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development: phenological development. *Field Crops Res.*, 99: 1-13.
43. Srivas, S.K., and Singh, U.P. 2004, Genetic variability, character association and path analysis of yield and its component traits in forage maize (*Zea mays* L.). *Range. Manag. Agrofores.*, 25: 149-153.
44. Wallach, D., and Goffinet, B. 1987. Mean squared error of prediction in models for studying economic and agricultural systems. *Biometrics.*, 43: 561–576.

45. Wang, E., Robertson, M.J., Hammer, G.L., Carberry, P.S., Holzworth, D., Meinke, H., Chapman, S.C., Hargreaves, J.N.G., Huth, N.I., and McLean, G. 2002. Development of a generic crop model template in the cropping system model APSIM. *Eur. J. Agron.*, 18(1): 121-140.
46. Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 63: 1309–1313.

