

ارزیابی مدل CERES-Wheat نسخه DSSAT 4.5 در شبیه‌سازی رشد، عملکرد و مراحل فنولوژی گندم در شرایط مدیریت‌های مختلف تخصیص آب در مزرعه (مطالعه موردی: شهرستان اهواز)

مهدی دلفندی^{۱*} - بهرام اندرزبان^۲ - سعید برومند نسب^۳ - علیرضا مساح بوانی^۴ - ابراهیم جواهری^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۲۹

چکیده

تحقیقات مزرعه‌ای که برای تعیین راهکارهای بهینه به‌زراعی و به‌نژادی انجام می‌شوند، علاوه بر هزینه بر بودن، زمان‌بر نیز می‌باشند. مدل‌های شبیه‌سازی رشد که جایگزین مناسبی برای کاهش هزینه و مدت زمان انجام اینگونه تحقیقات مزرعه‌ای محسوب می‌شوند، اثرات پیچیده عواملی مانند آب و هوا، خصوصیات خاک، و فاکتورهای مدیریتی را بر عملکرد گیاه در نظر می‌گیرند. یکی از کاراترین مدل‌های شبیه‌سازی رشد گندم، مدل CERES-Wheat می‌باشد که بایستی قبل از استفاده برای یک منطقه، مورد ارزیابی (واسنجی و صحت‌سنجی) قرار گیرد. بنابراین، این تحقیق با هدف ارزیابی توانایی مدل CERES-Wheat نسخه DSSAT 4.5 در شبیه‌سازی رشد و نمو، عملکرد و مراحل فنولوژیکی گندم (رقم چمران) برای شرایط آب و هوایی شهرستان اهواز صورت گرفت. برای این منظور، یک آزمایش تحقیقاتی در سال زراعی ۹۰-۱۳۸۹ در محل مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان طراحی و اجرا شد. با استفاده از نتایج این آزمایش و نتایج دو آزمایش دیگر که در سال‌های گذشته در منطقه مورد مطالعه انجام شده بود، مدل CERES-Wheat و صحت‌سنجی گردید. نتایج مرحله صحت‌سنجی نشان داد که بیشترین و کمترین خطای مدل به ترتیب مربوط به شبیه‌سازی حداکثر شاخص سطح برگ (۶ درصد) و شبیه‌سازی مراحل فنولوژی (۲ درصد) می‌باشد و به طور کلی نتیجه گرفته شده که مدل CERES-Wheat توانایی بالایی در شبیه‌سازی رشد و نمو، مراحل فنولوژیکی و عملکرد گندم برای شرایط آب و هوایی اهواز دارد.

واژه‌های کلیدی: گندم، مدل CERES-Wheat، ارزیابی، شبیه‌سازی

مقدمه

کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است چرا که سال‌هاست، غذای اصلی بسیاری از مردم ایران را تشکیل می‌دهد و حدود ۴۰ درصد کالری مصرفی مردم ایران از این محصول تأمین می‌شود. این محصول در مقایسه با محصولات پر درآمد دارای مزیت نسبی نمی‌باشد، اما به خاطر منافع ملی و قطع وابستگی غذایی، همگانی بودن مصرف گندم در سطح کشور، نیل به خودکفایی آن بایستی سرلوحه برنامه‌های توسعه کشور قرار گیرد (۶). با نگرش بر تبادلات تجاری سالانه گندم در سال‌های گذشته دیده می‌شود که هر ساله میلیون‌ها دلار از سرمایه کشور صرف مبادله این عنصر غذایی مهم می‌گردد. این مسأله نه تنها از نظر اقتصادی و موازنه ارزی بسیار پراهمیت است بلکه از لحاظ سیاسی نیز در خور اهمیت قابل تأملی می‌باشد چرا که علاوه بر وابستگی اقتصادی، وابستگی سیاسی را نیز در پی خواهد داشت (۷).

با افزایش رشد جمعیت جهانی، بایستی تولید گندم، سالانه حدود

غلات مهمترین نقش را در امنیت غذایی به عهده دارند. در حال حاضر از ۷۰۰ میلیون هکتار اراضی زیر کشت غلات جهان، ۲/۲ میلیارد تن محصول برداشت می‌شود. از بین همه غلات سه محصول ذرت، برنج و گندم به ترتیب با تولید ۷۹۰، ۶۶۰ و ۶۰۰ میلیون تن محصول سالانه (در سال ۲۰۰۷)، مهمترین غلات در سطح دنیا محسوب می‌شوند (۱۱). اما در ایران گندم نسبت به دیگر محصولات

۱- استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شاهرود

* - نویسنده مسئول: (Email: delghandi@gmail.com)

۲- استادیار و مربی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان

۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

(۲۳)، برای بررسی تأثیر مدیریت مصرف نیتروژن بر عملکرد و شبیه‌سازی مراحل رشد و نمو گندم، دتوری و همکاران (۹) و جانن و همکاران (۲۰۱۲)، برای ارزیابی تنش رطوبتی بر عملکرد گندم از مدل CERES-Wheat استفاده نمودند. این مدل در بررسی اثرات متقابل رطوبت و نیتروژن بر تولید گندم (۱۰، ۱۹ و ۲۴) و مطالعات مربوط به تغییر اقلیم (۱۴ و ۲۰) نیز مورد استفاده قرار گرفته است. همه این مطالعات مبین توانایی بالای مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد گندم تحت شرایط مختلف است. مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهی، قبل از کاربرد بایستی برای منطقه مورد مطالعه ارزیابی (واستجی و صحت‌سنجی) گردند. مدل CERES-Wheat نسخه 4.0 DSSAT برای شرایط آب و هوایی اهواز توسط اندرزیان و همکاران (۲) مورد ارزیابی قرار گرفته است در نسخه جدید این مدل یعنی CERES-Wheat 4.5-DSSAT که در سال ۲۰۱۲ ارائه شده است تغییراتی در پارامترهای مورد وااستجی مدل ایجاد شده است. با توجه به اینکه نسخه جدید این مدل تاکنون برای هیچ یک از مناطق ایران مورد ارزیابی قرار نگرفته است، لذا هدف این تحقیق، ارزیابی توانایی مدل CERES-Wheat 4.5-DSSAT در شبیه‌سازی مراحل مهم فنولوژیک و رشد و عملکرد گندم (رقم چمران) برای محدوده شهرستان اهواز می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

برای تحقیق حاضر شهرستان اهواز واقع در استان خوزستان به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردید (شکل ۱). این منطقه از نظر اقلیمی جزء مناطق خشک و نیمه خشک با تابستان‌های بسیار گرم است. موقعیت جغرافیایی ۴۰°، ۴۸° طول شرقی و ۲۰°، ۳۱° عرض شمالی و ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا می‌باشد. میانگین پارامترهای هواشناسی در طول فصل زراعی گندم در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه (شهرستان اهواز) در استان خوزستان

۲ درصد افزایش یابد تا پاسخگوی نیاز غذایی بشر باشد با توجه به زیر کشت رفتن اکثر زمین‌های قابل کشت، این افزایش ۲ درصدی تولید گندم باید از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح محقق گردد. هدف محققان زراعی از فعالیتهای به‌زراعی و به‌نژادی نیز همین امر می‌باشد (۱۸). تحقیقات مزرعه‌ای در مورد یافتن راهکارهای به‌زراعی و به‌نژادی مناسب و با هدف افزایش عملکرد در واحد سطح، نیازمند صرف هزینه و زمان بسیاری می‌باشد. علاوه بر آن انجام آزمایشی با چندین گزینه به‌زراعی و به‌نژادی و بررسی اثرات متقابل آن‌ها در سطح مزرعه بسیار مشکل می‌باشد (۲۱). استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به دلیل هزینه پایین، سرعت بالا و در اختیار قراردادن اطلاعات کامل گزینه مناسبی برای تکمیل و توسعه نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای محسوب می‌شوند (۲۴). مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی رشد گندم توسعه داده شدند، از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های CERES-Wheat، APSIM، WOFOST، EPIC، SOCRUS و AquaCrop اشاره نمود. وایتو همکاران (۲۷) با مرور ۲۲۱ مطالعه انجام شده در بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ عنوان نمودند که از بین ۷۰ مدل مختلف مورد استفاده در این مطالعات، دو مدل CERES و EPIC بیشترین کاربرد را داشته‌اند. مدل CERES در ۶۳ و مدل EPIC در ۲۵ مورد از مطالعات مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این آمار نشان‌دهنده کاربرد وسیع‌تر مدل CERES نسبت به دیگر مدل‌های گیاهی در شبیه‌سازی رشد و نمو و عملکرد گندم در دنیا می‌باشد. از طرفی دیگر مدل CERES-Wheat نسبت به دیگر مدل‌های گندم دارای جامعیت بیشتری می‌باشد. مطالعات مختلفی در زمینه ارزیابی توانایی مدل CERES-Wheat در سطح دنیا صورت گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعات کیانی و همکاران (۵)، بنیان و همکاران (۸)، لانگنزیپین و همکاران (۱۷) و اندرزیان و همکاران (۲) در مورد ارزیابی مدل CERES-Wheat اشاره نمود. همچنین غفاری و همکاران (۱۲)، تیمسینا و هامفریز (۲۵)، و تیمسینا و همکاران (۲۶) به منظور ارزیابی راهکارهای مختلف مدیریتی، ساسنדרان و همکاران

جدول ۱- میانگین مقادیر درجه حرارت ($^{\circ}\text{C}$) و بارندگی (mm) در طول فصل زراعی گندم در ایستگاه سینوپتیک اهواز (۱۳۹۰-۱۳۳۷)

پارامتر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت
میانگین حداکثر دما	۲۶/۵	۱۹/۳	۱۷/۵	۲۰/۳	۲۵/۲	۳۲/۱	۳۹/۱
میانگین حداقل دما	۱۲/۸	۸/۵	۷/۲	۸/۶	۱۲/۳	۱۷/۴	۲۲/۷
میانگین دما	۱۹/۶	۱۳/۹	۱۲/۳	۱۴/۵	۱۸/۸	۲۴/۸	۳۰/۹
بارندگی mm	۳۲/۹	۵۱/۹	۵۳/۴	۲۹/۷	۲۸/۷	۱۶/۷	۴/۷

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش

رس	فراوانی نسبی و اندازه ذرات خاک (درصد)			جرم مخصوص بافت خاک (g/cm^3)	هدایت الکتریکی (ds/m)	PH	FC درصد وزنی	PWP درصد وزنی	عمق کربن آلی (%)	عمق (cm)
	سلیت	شن	رسی							
۳۵/۷	۳۴/۶	۲۹/۷	رسی	۱/۲۷	۲/۹۴	۷/۹۸	۲۹	۱۷	۰/۵۵	۰-۳۰
۳۷/۳	۵۲/۶	۱۰/۱	رسی	۱/۲۸	۳/۱۸	۸/۱۲	۲۷	۱۶	۰/۴۵	۳۰-۶۰
۳۵/۲	۵۲/۶	۱۱/۲	رسی	۱/۲۴	۵/۶۸	۸/۱۰	۲۸	۱۶	۰/۴۱	۶۰-۹۰

آزمایشات مزرعه‌ای

به منظور تهیه داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای واسنجی و ارزیابی مدل CERES-Wheat، یک آزمایش تحقیقاتی در سال زراعی ۱۳۸۹-۹۰ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان طراحی و اجرا گردید. این آزمایش در سه سطح آبیاری و سه تکرار بر اساس معیار حداکثر تخلیه مجاز رطوبت قابل دسترس خاک^۱ (MAD) انجام شد. این سه تیمار آبیاری عبارت بودند از مدیریت آبیاری به ترتیب بر اساس MAD برابر با ۴۵-۵۰ درصد (I_1)، ۶۰-۶۵ درصد (I_2) و ۷۵-۸۰ درصد (I_3). رقم گندم مورد بررسی در این تحقیق، رقم چمران بود که بر اساس تراکم ۴۰۰ دانه در مترمربع در کرت‌های ۶ خطی به طول ۶ متر و عرض ۱/۲ متر و با فاصله خطوط ۲۰ سانتیمتر کشت شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش نیز در جدول ۲ ارائه شده است.

برای تعیین زمان آبیاری در هر یک از تیمارها، رطوبت خاک به طور مرتب و روزانه در عمق توسعه ریشه (عمق‌های ۱۵-۳۰، ۰-۱۵ و ۳۰-۶۰ سانتیمتر) به روش وزنی اندازه‌گیری شد و زمانیکه تخلیه رطوبت قابل استفاده خاک به اندازه تیمار آبیاری مورد نظر (MAD) برابر با ۴۵ تا ۵۰ درصد، ۶۰ تا ۶۵ درصد و ۸۰ تا ۸۵ درصد) رسید کرت مورد نظر آبیاری شد. مقدار آب مورد نیاز هر تیمار براساس معادلات زیر به دست آمد.

$$I_n = (\theta_{fc} - \theta_i) \cdot d \quad (1)$$

$$I_g = \frac{I_n}{E} \quad (2)$$

$$V = I_g \cdot A \quad (3)$$

که θ_{fc} رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی، θ_i رطوبت حجمی خاک

1-Maximum Allowable Depletion

در زمان آبیاری (اعشار)، d عمق توسعه ریشه (میلیمتر)، I_n عمق خالص آبیاری (میلیمتر)، I_g عمق ناخالص آبیاری (میلیمتر)، E راندمان آبیاری که برابر با ۸۵ درصد در نظر گرفته شد. A مساحت هر کرت فرعی (متر مربع) و V حجم آب آبیاری به لیتر می‌باشد. اولین آبیاری بلافاصله پس از کاشت بذرها بطور یکنواخت برای کلیه کرت‌های آزمایشی به میزان ۶۰ میلیمتر صورت گرفت. در آبیاری‌های بعدی پس از محاسبه مقدار آب مورد نیاز برای هر تیمار از کنتور حجمی دقیق برای آبیاری استفاده گردید. تاریخ و میزان آب مصرف شده برای هر تیمار در جدول ۳ آورده شده است.

بر اساس آزمون خاک و توصیه کودی بخش خاک و آب مرکز تحقیقات، مقدار ۳۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره ۴۶ درصد، ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سوپرفسفات تریپل و ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم در زمان‌های مناسب به خاک داده شد. بذرها پس از ضدعفونی به روش دستی، با تراکم یکنواخت و در تاریخ ۲۶ آبان‌ماه کشت شدند. در طی فصل رشد کنترل‌های مربوط به بیماری‌ها و آفات و مبارزه با علف‌های هرز صورت گرفت. در طول فصل کشت، مراحل اصلی فنولوژی رشد بر اساس مقیاس زادوکس (۲۸) از طریق بازدیدهای مستمر از مزارع یادداشت گردید.

در پایان فصل بعد از رسیدگی فیزیولوژیکی، عملکرد بیولوژیک کل، عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد سنبله در واحد سطح و تعداد دانه در هر سنبله تعیین گردیدند.

برای ارزیابی مدل، علاوه بر نتایج این آزمایش، از نتایج دو آزمایش اندرزیان (۱) و جواهری و همکاران (۳) که در محدوده مورد مطالعه انجام شده بود نیز استفاده گردید. آزمایش اندرزیان (۱) در دو سال زراعی ۱۳۸۲-۸۳ و ۱۳۸۳-۸۴ و در دو تاریخ کاشت اول و ۲۵ آذر ماه براساس MAD برابر با ۵۰ درصد و در چهار تکرار انجام شده

حداقل، تشعشع خورشیدی و میزان بارندگی باشند که توسط زیر مدل Weather Man برای مدل تعریف می‌شود. در این تحقیق برای تهیه اطلاعات هواشناسی مورد نیاز، از ایستگاه سینوپتیک اهواز استفاده گردید. فایل A شامل مشخصات تولیدی گیاه نظیر عملکرد نهایی، ماده خشک نهایی، حداکثر شاخص سطح برگ تولیدی و ... می‌باشد و در نهایت فایل T روند تغییرات صفات در طول زمان رشد را شامل می‌شود.

واسنجی و صحت سنجی مدل CERES-Wheat

واسنجی و صحت سنجی، لازمه استفاده صحیح از مدل می‌باشد. برای واسنجی مدل، نیاز به داده‌های آزمایشی است که از سطح منطقه جمع آوری شده باشد. این اطلاعات شامل: تاریخ جوان هزنی، تاریخ پنجه زنی، تاریخ گلدهی، تاریخ شروع پرشدن دانه، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک، شاخص سطح برگ، عملکرد دانه، ماده خشک کل، شاخص برداشت، وزن هزاردانه و تعداد برگ می‌باشد. برای واسنجی مدل CERES-Wheat از داده‌های تیمارهای نرمال (تیمارهای بدون تنش) آزمایش‌های مزرعه‌ای استفاده گردید. فایل ژنوتیپ مدل، شامل سه فایل متنی گونه^۵، اکوتایپ^۶ و کولتیوار^۷ می‌باشد فایل گونه و اکوتایپ دارای چندین ضریب هستند که این ضرایب به کاربر اجازه می‌دهند تا فرایند رشد و نمو گیاه شامل پاسخ گیاه به دما و CO₂، کارایی مصرف نور، جذب نیتروژن، رشد ریشه، سرعت جوانه زنی و ... را کنترل نمایند (۱۵). در فایل کولتیوار ۷ ضریب ژنتیکی معرفی شده است که خصوصیات هر رقم را تشکیل می‌دهند به منظور واسنجی مدل، باید این ضرایب ژنتیکی برای رقم مورد نظر (در این مطالعه رقم چمران) تنظیم و تعیین گردد. این ضرایب ژنتیکی به شرح ذیل می‌باشند:

P1V: این ضریب برای تعیین میزان حساسیت ارقام گندم به بهاره سازی به کار می‌رود و نشان دهنده تعداد روزهایی است که باید دمای آن‌ها برای ورنالیزاسیون در حد مطلوب باشد. واریته‌های گندم بهاره مانند رقم چمران، حساسیت خیلی اندکی به بهاره‌سازی دارند و این ضریب کمتر از ۵ می‌باشد.

P1D (حساسیت به دوره نوری): این ضریب، میزان تأخیر در نمو گندم را به ازای قرارگرفتن گیاه در دوره نوری با یک ساعت کوتاه تر از دوره نوری مطلوب را نشان می‌دهد.

P5: برای نشان دادن طول دوره پر شدن دانه براساس درجه-روز استفاده می‌شود.

G1: این ضریب برای محاسبه تعداد دانه به کار می‌رود.

است. در آزمایش جواهری و همکاران (۳) مدیریت مصرف نیتروژن از منابع مختلف کود نیتروژن در طی دو سال زراعی ۸۶-۱۳۸۵ و ۸۷-۱۳۸۶ مورد بررسی قرار گرفته است. در این آزمایش رقم چمران در دو تاریخ ۵ و ۲۵ آذر ماه و در سه تکرار کشت گردید.

جدول ۳- زمان و مقدار آب مصرف شده در هر یک از تیمارهای

آبیاری					
تیمار I ₃		تیمار I ₂		تیمار I ₁	
Irr (mm)	DAP	Irr (mm)	DAP	Irr (mm)	DAP
۶۰	۱	۶۰	۱	۶۰	۱
۷۱	۲۵	۵۸	۱۶	۴۷	۱۰
۷۱	۴۲	۵۹	۳۷	۴۷	۲۷
۷۳	۶۶	۵۸	۵۴	۴۵	۴۱
۷۱	۸۳	۵۶	۶۷	۴۷	۵۴
۷۱	۱۰۷	۵۹	۸۱	۴۷	۶۷
۴۱۵	جمع	۵۸	۹۸	۴۸	۸۲
----	----	۵۶	۱۱۵	۴۹	۹۵
----	----	۴۶۴	جمع	۴۷	۱۰۷
----	----	----	----	۴۷	۱۲۰
----	----	----	----	۴۸۵	جمع

توصیف مدل CERES-Wheat

برای انجام این تحقیق، از مدل CERES-Wheat^۱ نسخه 4.5 DSSAT^۲ استفاده شد. این مدل از گروه مدل‌های CERES می‌باشد که برای غلات تهیه شده است. این مدل خود یکی از زیر مدل‌های DSSAT^۳ است. 4.5 DSSAT^۳ توسط موسسه ICASA^۴ و در سال ۲۰۱۲ میلادی ارائه شده است.

برای شبیه‌سازی توسط مدل، لازم است که داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی، تحت فایل‌های خاصی سازماندهی و به مدل ارائه شوند. این فایل‌ها هر کدام جنبه خاصی از رشد و نمو گیاه و یا شرایط محیطی را نشان می‌دهند. فایل X شامل اطلاعات مدیریت زراعی می‌باشد که توسط زیر مدل XBIULD به مدل ارائه می‌شود. برای ساخت فایل خاکشناسی از زیر مدل SBUILD استفاده می‌شود. اطلاعات هواشناسی بایستی حداقل مشتمل بر درجه حرارت حداکثر و

- 1- Crop Estimation through Resource and Environment Synthesis
- 2- Decision Support System for Agrotechnology Transfer
- 3- Decision Support System for Agrotechnology Transfer
- 4- International Consortium for Agricultural Systems Applications

5 - Species

6- Ecotype

7- Cultivar

G2: از این ضریب برای مشخص کردن سرعت پرشدن دانه استفاده میشود.

G3: مشخص کننده وزن سنبله و ساقه، در زمان کاهش طولی شدن ساقه می باشد.

PHINT: فاصله زمانی بین ظهور نو کدو برگ متوالی بر مبنای واحد درجه -روز توسط این ضریب بیان می شود.

به منظور صحت سنجی مدل از دیگر تیمارهای آزمایش های مزرعه ای که برای واسنجی استفاده نگردیده بودند استفاده شد. برای ارزیابی مدل ها از شاخص های آماری مختلفی استفاده می شود که در این تحقیق از آماره های میانگین ریشه دوم خطا^۱ (RMSE)، ضریب تعیین^۲ (R^2)، میانگین اربیبی خطا^۳ (MBE)، RMSE نرمال شده^۴ (NRMSE)، ضریب باقیمانده^۵ (CRM) و نمودار یک به یک استفاده شده است. شکل ریاضی این آماره ها بصورت زیر می باشند:

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (4)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100 \quad (7)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n O_i - \sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \quad (8)$$

که در آنها P_i مقادیر پیش بینی شده، O_i مقادیر اندازه گیری شده (مشاهده شده)، n تعداد نمونه های بکار رفته و \bar{O} مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده است آماره R^2 نسبت پراکندگی را بین مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری ها نشان می دهد. RMSE و NRMSE با نشان دادن مقدار خطا دقت مدل را مورد بررسی قرار می دهد. CRM منفی نشانگر تمایل مدل به برآورد بیش از مقادیر مشاهداتی است. مقادیر منفی MBE برعکس مقادیر منفی CRM نشان می دهد مدل برآورد کمتری نسبت به داده های مشاهداتی داشته است. چنانچه تمام مقادیر پیش بینی و اندازه گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی آماره های RMSE، CRM، MBE و NRMSE برابر صفر می شود (۱۸).

نتایج و بحث

نتایج آزمایش های مزرعه ای

در طول دوره کشت، مراحل رشد و نمو یادداشت برداری گردید (جدول ۴). روند تغییرات ماده خشک نیز برای تیمارهای آبیاری در شکل ۲ ارائه شده است. همانگونه که در این شکل مشخص می باشد روند تغییرات ماده خشک از یک روند سیگموئیدی تبعیت می کند. با افزایش تنش آبی، میزان ماده خشک نیز کاهش می یابد. با افزایش تنش آبی، کاهش فشار آماس سلول ها موجب کاهش بازشدگی روزنه های برگ ها و افت فعالیت فتوسنتزی می شود. تولید ماده خشک نیز رابطه مستقیمی با فتوسنتز دارد و به تبع کاهش فتوسنتز، تولید ماده خشک نیز کاهش می یابد از طرفی دیگر گندم یک گیاه سه کربنه می باشد لذا مقداری از فتوسنتز خالص خود را (حدود ۲۰ درصد) در تنفس نوری از دست می دهد.

نتایج صفات گیاهی مورد نیاز جهت واسنجی مدل، برای هر سه تیمار آبیاری در جدول ۵ ارائه شده است. همانگونه که از این جدول پیداست با افزایش تنش، میزان عملکرد و صفات گیاهی کاهش پیدا کرده اند.

مقدار بهره وری آب آبیاری نیز برای هر سه تیمار محاسبه گردید که مقدار این شاخص برای سه تیمار (I_1)، (I_2) و (I_3) به ترتیب برابر با ۱۲/۸۰، ۱۱/۰۳، ۸/۳۱ کیلوگرم بر میلیمتر آب آبیاری تعیین شد که نشان می دهد که بهره وری آب در دو تیمار (I_1) و (I_2) نسبت به تیمار (I_3) به مراتب بیشتر است

نتایج واسنجی مدل CERES-Wheat

به منظور واسنجی مدل CERES-Wheat برای رقم چمران در منطقه مورد مطالعه، از نتایج تیمار بدون تنش (I_1) آزمایش مزرعه ای سال ۹۰-۱۳۸۹ و نتایج تیمار تاریخ کشت اول آذرماه سال ۸۳-۱۳۸۲ آزمایش مزرعه ای اندرزبان (۱) استفاده گردید. از آنجائیکه این مدل برای اقلیم های گرم مانند خوزستان تهیه نشده است، برای شبیه سازی بهتر عملکرد، اجزای عملکرد و مراحل فنولوژی لازم است علاوه بر ضرایب ۷ گانه ژنتیکی، برخی از ضرایب دو فایل اکوتایپ و گونه^۶ نیز تغییر داده شوند. در فایل گونه مدل، دماهای کاردینال (پایه) برای مرحله پرشدن دانه گندم (که در مدل توسط ضریب TRGFW معرفی شده است)، به ترتیب صفر، ۱۶، ۳۵ و ۴۵ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شده اند. اما تحقیقات و بررسی ها نشان داده که دماهای کاردینال انتهایی برای مرحله پرشدن دانه ژنوتیپ های گندم، ۲۵ و ۳۵ درجه سانتی گراد می باشد (۴ و ۱۳).

- 1 - Root Mean Square Error
- 2- Coefficient of determination
- 3 - Mean Bias Error
- 4- Normalized RMSE
- 5- Coefficient Of Residual Mass

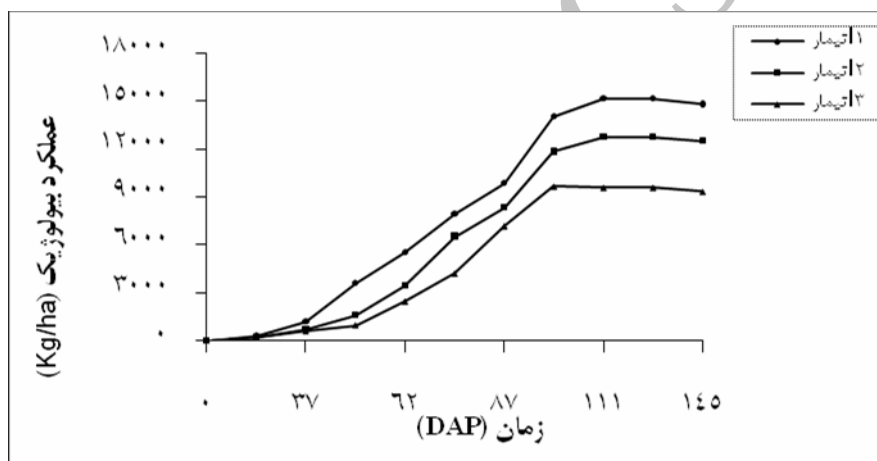
6- Species

جدول ۴- نتایج یادداشت برداری مراحل فنولوژیکی گندم به صورت روز پس از کاشت (DAP)

تیمار	سبز شدن	شروع پنجه‌زنی	سنبلچه انتتهایی	آبستنی	گلدهی	گرده افشانی	رسیدگی فیزیولوژیک
(I ₁) بدون تنش	۱۰	۲۵	۵۲	۸۳	۹۱	۹۸	۱۴۱
(I ₂) تنش متوسط	۱۰	۲۵	۵۲	۸۴	۹۱	۱۰۰	۱۴۳
(I ₃) تنش نسبتاً شدید	۱۰	۲۵	۵۲	۸۴	۹۱	۱۰۰	۱۴۳

جدول ۵- عملکرد و اجزای عملکرد برای تیمارهای مختلف آبیاری (میانگین سه تکرار)

اجزای عملکرد	تیمار		
	I ₁	I ₂	I ₃
عملکرد دانه (Kg/ha)	a۶۲۱۰	b۵۱۲۱	c۳۴۵۲
وزن هزار دانه (g)	a۴۴	a۴۳	b۳۸
ماده خشک (Kg/ha)	a۱۴۸۰۰	b۱۲۴۷۵	c۹۳۴۰
شاخص برداشت	a۰/۴۲	a۰/۴۱	a۰/۳۷
تعداد سنبله در متر مربع	a۴۵۵	b۴۳۵	c۳۴۹
تعداد دانه در سنبله	a۳۷/۰	b۲۸/۰	c۲۶/۰
حداکثر شاخص سطح برگ	a۴/۶	b۴	c۲/۶



شکل ۲- روند تجمع ماده خشک اندام‌های هوایی در طول فصل زراعی برای تیمارهای آبیاری

چمران اصلاح گردید. این ۹ ضریب که مقادیر آن‌ها در جدول ۶ ارائه شده است عبارت بودند از: P1 (ضریب مربوط به طول دوره جوانی تا سنبلچه انتتهایی)، P2 (ضریب مربوط به طول دوره سنبلچه انتتهایی تا پایان رشد برگ)، P3 (ضریب مربوط به طول پایان رشد برگ تا پایان رشد سنبله)، PARU2 (نسبت تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزی به ماده خشک بعد از تشکیل آخرین برگ)، PARUE (نسبت تبدیل تشعشع فعال فتوسنتزی به ماده خشک قبل از تشکیل آخرین برگ)، SLAS (ضریب مربوط به سطح ویژه برگ)، LAIS (ضریب مربوط به سطح اولین برگ استاندارد)، LAFR (ضریب مربوط به افزایش در پتانسیل سطح برگ در مرحله زایشی) و LAFV (ضریب مربوط به افزایش در پتانسیل سطح برگ در مرحله رویشی).

در شهرستان اهواز که دوره انتتهایی رشد گندم (مرحله پر شدن دانه) معمولاً همراه با تنش گرما است بایستی این اعداد اصلاح شوند. لذا با دماهای کاردینال پیش فرض مدل (۳۵ و ۴۵ درجه سانتی‌گراد)، گندم هیچگاه با تنش گرما روبرو نخواهد شد. این درحالیست که در شرایط آب و هوایی شهرستان اهواز، گندم در مراحل انتتهایی رشد دچار تنش گرما می‌گردد. از این رو بر اساس توصیه گواچ و همکاران (۱۳) و رادمهر (۴) عدد ۳۵ به ۲۵ و عدد ۴۵ به ۳۵ درجه سانتی‌گراد تغییر داده شد تا مدل بتواند تنش گرمای انتتهای فصل رشد گندم را نیز در شبیه‌سازی در نظر بگیرد. در فایل اکوتایپ مدل، برای هر اکوتایپ ۳۲ ضریب در نظر گرفته شده است. در این تحقیق برای رقم چمران با توجه به میان‌رس بودن آن اکوتایپ CAWH01 انتخاب و ۹ تا از ضرایب آن برای شبیه‌سازی دقیق‌تر رشد و نمو گندم رقم

جدول ۶- ضرایب واسنجی شده اکوتایپ CAWH01 برای رقم چمران

ضریب	P1	P2	P3	PARUE	PARU2	LAIS	LAFV	LAFR	SLAS
مقدار	۲۳۵	۳۰۰	۲۰۰	۴/۶	۴/۶	۲	۰/۰۴	۰/۱۵	۱۸۰

جدول ۷- ضرایب ژنتیکی واسنجی شده برای رقم چمران

ضریب	P1V	P1D	P5	G1	G2	G3	PHINT
مقدار	۰	۱۰۳	۷۰۰	۱۱	۴۵	۱	۱۰۵

جدول ۸- نتایج مربوط به صحت‌سنجی مدل CERES-Wheat برای منطقه مورد مطالعه

آزمایش	تیمار	AD (DAP)		MD (DAP)		HY (Kg/ha)		TW (Kg/ha)		LAI _x	
		O	S	O	S	O	S	O	S	O	S
		تنش ملایم	۹۵	۱۰۰	۱۳۹	۱۴۳	۵۴۱۷	۵۱۲۱	۱۲۳۵۳	۱۲۴۷۵	۴
۱۳۸۹-۹۰	تنش نسبتاً شدید	۹۵	۱۰۰	۱۳۹	۱۴۳	۳۵۳۴	۳۴۵۲	۸۹۳۱	۹۳۴۰	۴	۴
۱۳۸۲-۸۳	کشت ۲۵ آذر	۹۳	۹۳	۱۲۸	۱۲۷	۵۰۷۴	۵۶۰۸	۱۳۸۲۸	۱۴۵۷۰	۴	۴
۱۳۸۳-۸۴	کشت ۱ آذر	۱۰۰	۱۰۰	۱۳۹	۱۴۰	۶۵۳۱	۶۴۴۸	۱۶۵۸۰	۱۶۷۳۰	۴	۴
	کشت ۲۵ آذر	۹۷	۹۶	۱۳۲	۱۳۱	۵۷۸۳	۵۸۸۰	۱۴۴۵۱	۱۴۹۷۰	۴	۴
۱۳۸۵-۸۶	کشت ۵ آذر	---	---	۱۴۶	۱۴۵	۴۹۸۴	۵۱۵۸	۱۳۵۸۳	۱۲۹۲۳	--	--
۱۳۸۶-۸۷	کشت ۵ آذر	---	---	۱۳۹	۱۴۲	۵۷۸۶	۵۸۷۰	۱۴۹۱۳	۱۳۳۵۳	--	--
	تنش ملایم	---	---	۱۲۶	۱۲۵	۴۱۲۱	۴۲۱۸	۱۱۹۲۴	۱۱۵۶۶	--	--

AD: گرده‌افشانی MD: رسیدگی فیزیولوژیک HY: عملکرد دانه TW: ماده خشک کل LAI_x: حداکثر شاخص سطح برگ DAP: روز پس از کاشت O: مشاهده شده (اندازه گیری شده) S: شبیه‌سازی

جدول ۹- مقادیر شاخص‌های آماری صحت‌سنجی مدل CERES-Wheat

شاخص آماری	AD (DAP)	MD (DAP)	HY (Kg/ha)	TW (Kg/ha)	LAI _x
RMSE	۳/۱۹	۲/۴۰	۲۳۵	۷۰۹	۰/۲۵
NRMSE	۳	۲	۵	۵	۶
R ²	۰/۲۵	۰/۹۲	۰/۹۴	۰/۹۰	۰/۹۲
MBE	-۱/۸	-۱	-۶۵/۶	۷۹/۵	۰/۱
CRM	۰/۰۱۸	۰/۰۰۷	۰/۰۱۲۶	-۱/۰۰۶	-۱/۰۲۵

AD: گرده‌افشانی MD: رسیدگی فیزیولوژیک HY: عملکرد دانه TW: ماده خشک کل LAI_x: حداکثر شاخص سطح برگ DAP: روز پس از کاشت

تنش ملایم (I₂) و تنش شدید (I₃) آزمایش مزرعه‌ای، از نتایج ۳ تیمار آزمایش اندرزیان (۱) و ۳ تیمار جواهری و همکاران (۳) استفاده گردید (جدول ۸). که نتایج مربوط به آن در جدول ۹ ارائه شده است. نتایج شاخص‌های صحت‌سنجی مندرج در جدول ۹ نشان می‌دهد که مدل CERES-Wheat به خوبی مراحل فنولوژی، عملکرد و اجزای عملکرد را برای منطقه مورد مطالعه شبیه‌سازی نموده است. مقادیر RMSE و NRMSE که به نوعی کارایی مدل را نشان می‌دهند به طور خیلی مناسبی پایین می‌باشد. حداکثر NRMSE، مربوط به شبیه‌سازی LAI می‌باشد که ۶ درصد محاسبه گردیده است. مقدار

سپس با تعیین ضرایب ۷ گانه ژنتیکی، مدل برای هر دو آزمایش به صورت جداگانه برای رقم چمران واسنجی گردید. با میانگین‌گیری از ضرایب ۷ گانه ژنتیکی این دو آزمایش، ضرایب ژنتیکی رقم چمران تعیین و در جدول ۷ ارائه شده است.

نتایج صحت‌سنجی^۱ مدل CERES-Wheat

در این تحقیق برای صحت‌سنجی مدل، علاوه بر نتایج دو تیمار

1- Validation

DSSAT 4.5 در شرایط آب و هوایی شهرستان اهواز، یک آزمایش تحقیقاتی در سال زراعی ۹۰-۸۹ در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان طراحی و اجرا گردید. برای ارزیابی مدل علاوه بر نتایج این آزمایش، از نتایج دو آزمایش تحقیقاتی اندرزیان (۱) و جواهری و همکاران (۳) نیز استفاده گردید. در واسنجی مدل، با استفاده از نتایج دو تیمار نرمال آزمایشات مزرعه‌ای، ضرایب ۷ گانه ژنتیکی مدل تعیین گردید و با نتایج ۶ تیمار دیگر مدل صحت سنجی گردید. برای شبیه‌سازی بهتر عملکرد، اجزای عملکرد و مراحل فنولوژی، علاوه بر ضرایب ۷ گانه ژنتیکی، برخی از ضرایب دو فایل اکوتایپ و گونه مدل نیز تغییر داده شدند. بیشترین و کمترین خطای مدل در مرحله صحت سنجی به ترتیب مربوط به شبیه‌سازی حداکثر شاخص سطح برگ (حدود ۶ درصد) و شبیه‌سازی مراحل فنولوژی (حدود ۲ درصد) بود. به طور کلی نتایج صحت سنجی مدل نشان داد، مدل CERES-Wheat توانایی بسیار بالایی در شبیه‌سازی عملکرد، اجزای عملکرد و مراحل فنولوژی رشد گندم دارد.

این شاخص برای شبیه‌سازی مراحل فنولوژی به مراتب کمتر می‌باشد و مقدار آن به ۲ درصد کاهش پیدا می‌کند. ژائو و همکاران (۲۹) در صحت‌سنجی مدل CERES-Wheat خطای ۱۱ درصد را نشان از کارایی بالای مدل ذکر کردند. ضریب تبیین نیز به غیر از شبیه‌سازی مرحله گرده‌افشانی برای بقیه موارد بین ۰/۹۰ تا ۰/۹۴ است. بنابراین با توجه به مقادیر RMSE، NRMSE و R^2 می‌توان عنوان نمود که مدل واسنجی شده، توانایی بالایی در شبیه‌سازی عملکرد، اجزای عملکرد و مراحل فنولوژی دارد. ارقام ذکر شده برای شاخص‌های MBE و CRM نشان می‌دهد که واسنجی شده CERES-Wheat مراحل فنولوژی و عملکرد دانه را کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده، شبیه‌سازی نموده است و این امر برای حداکثر LAI و ماده خشک کل برعکس می‌باشد.

نتیجه گیری

در این مطالعه به منظور ارزیابی مدل CERES-Wheat نسخه

منابع

- ۱- اندرزیان ب. ۱۳۸۶. مدلسازی و شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد گندم. پایان‌نامه دکتری. گروه زراعت. دانشکده کشاورزی. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- اندرزیان ب، بخشنده ع، بنایان م. و امامی. ۱۳۸۷. ارزیابی مدل شبیه‌سازی CERES-Wheat در شرایط اقلیمی اهواز. مجله پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۱(۶): ۲۲-۱۱.
- ۳- جواهری ا، موسوی فضل م. و جردانیج. ۱۳۸۸. مدیریت مصرف منابع ازت برای سه رقم گندم زودرس، متوسط‌رس و دیررس. گزارش نهایی طرح تحقیقاتی. موسسه تحقیقات آب و خاک.
- ۴- رادمهر م. ۱۳۷۶. تأثیر تنش گرما بر فیزیولوژی رشد و نمو گندم. انتشارات دانشگاه فردوسی. چاپ اول. ۲۰۱۰ صفحه
- ۵- کیانی ع، کوچکی ع، بنایان م. و نصیری محلاتی م. ۱۳۸۲. ارزیابی مدل CERES-wheat در دو نقطه متفاوت اقلیمی در استان خراسان. مجله پژوهشی بیابان. ۸ (۲): ۲۷۵-۲۶۴.
- ۶- ملکوتی م.ج. ۱۳۷۹. رابطه کم آبیاری با مقدار و نوع کودهای مصرفی. خلاصه مقالات کارگاه فنی کم‌آبیاری. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. شماره ۳۶.
- ۷- نوری امامزاده‌ئی م.ر. ۱۳۸۳. شبیه‌سازی اثرات تنش آب و میزان نیتروژن بر فرآیند رشد و نمو گندم. پایان‌نامه دکتری. گروه آبیاری و زهکشی. دانشکده مهندسی علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- 8- Bannayan M., Croust N.M.J. and Hoogenboom G. 2003. Application of the CERES- wheat model for within season prediction of winter wheat yields in the United Kingdom. *Agron.* 95: 114-125.
- 9- Dettori M., Cesaracciob C., Motronic A., Spanod D., and Duceb P. 2011. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy. *Field Crops Research.* 120: 179-188.
- 10- Eitzinger J., Trnka M., Hösch J., Žalud Z., and Dubrovský M. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling.* 171: 223-246.
- 11- FAO. 2009. Crop Prospects and Food Situation. No. 3, July 2009. Available on <http://www.fao.org/giews/>.
- 12- Ghaffari A., Cook H.F. and Lee H.C. 2001. Simulating winter wheat yields under temperate conditions: exploring different management scenarios. *Europ. J. Agron.* 15:231-240.
- 13- Gouache C.H., Bris X.L., Bogard M., Deudon O., Pagé C.H. and Philippe P.H. 2012. Evaluating agronomic adaptation options to increasing heat stress under climate change during wheat grain filling in France. *Europ. J. Agronomy.* 39: 62-70.
- 14- Guo R., Lin Z., Mo X., Yang C. 2010. Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the

- North China Plain. *Agricultural Water Management*. 97: 1185-1194.
- 15- Hoogenboom G., Jones J.W., Porter C.H., Wilkens P.W., Boote K.J., Batchelor W.D., Hunt L.A., and Tsuji G.Y. 2003. DSSAT v4. Volume 1. International Consortium for Agricultural Systems Applications. University of Hawaii.
 - 16- Johnen T., Boettcher U., and Kage H. 2012. A variable thermal time of the double ridge to flag leaf emergence phase improves the predictive quality of a CERES-Wheat type phenology model. *Computers and Electronics in Agriculture*. 89: 62-69.
 - 17- Langensiepen M., Hanus H., Schoop P., and Grasedl W. 2008. Validating CERES-wheat under North-German environmental conditions. *Agricultural Systems*. 97: 34-47.
 - 18- Mereu V. 2009. climate change impact on durum wheat in Sardinia. Ph.D dissertation. *Agrometeorologia e Ecofisiologia dei Sistemi Agrari e Forestali*. XXII ciclo – Università degli Studi di Sassari.
 - 19- Panda R.K., Behera S.K., and Kashyap P.S. 2003. Effective management of irrigation water for wheat under stressed conditions, *Agric. Water. Manage.* 63:37-56.
 - 20- Popova Z. and Kercheva M. 2005. CERES-model application for increasing preparedness to climate variability in agricultural planning: calibration and validation test. *Physic. Chemi. Earth*. 30: 125-133.
 - 21- Rinaldi M. 2004. Water availability at sowing and nitrogen management of durum.wheat: a seasonal analysis with the CERES-Wheat model. *Field Crops Research*. 89: 27-37.
 - 22- Ruiping Guo R., Zhonghui Lin Z., and Mo Yang C. 2010. Responses of crop yield and water use efficiency to climate change in the North China Plain. *Agricultural Water Management* 97: 1185-1194.
 - 23- Sassen dran S.A., Nielsen D.C., Ma L., Ahuja L.R. and Halvorson A.D. 2004. Modeling nitrogen management on winter wheat production using RZWQM and CERES-Wheat. *Agron.* 96: 615-630.
 - 24- Singh A.K., Tripathy R., and Chopra U.K. 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water-nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*. 95: 776-786.
 - 25- Timsina J., and Humphreys E. 2006. Performance of CERES-Rice and CERES-Wheat models in rice-wheat systems: A review. *Agricultural Systems*. 90: 5-31.
 - 26- Timsina J., Godwin D., Humphreys E., Singh Y., Singh B., Kukal S.S., and Smith D. 2008. Evaluation of options for increasing yield and water productivity of wheat in Punjab, India using the DSSAT-CSM-CERES-Wheat model. *Agricultural water management*. 95: 1099-1110.
 - 27- White J.W., Hoogenboom G., Kimball B.A. and Wall G.W. 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research*. 124: 357-368.
 - 28- Zadoks J.C., Chang T.T. and Konzak C.F. 1974. A decimal cod for the growth stage of cereals. *Weed Res.* 14: 415-421.
 - 29- Zhao H., Gao G., Yan X., Zhang Q., Hou H., Zhu Y. and Tian Z. 2011. Risk assessment of agricultural drought using the CERES-Wheat model: a case study of Henan Plain, China. *Clim Res.* 50: 247-256.

Archive of SID

Evaluation of DSSAT 4.5-CSM-CERES-Wheat to Simulate Growth and Development, Yield and Phenology Stages of Wheat under Water Deficit Condition (Case Study: Ahvaz Region)

M. Delghandi^{1*}- B. Andarzian²- S. Broomandnasab³-A. Massah Bovani⁴- E. Javaheri⁵

Received: 13-04-2013

Accepted: 18-02-2014

Abstract

Field experiments for quantifying optimal breeding strategies are time-consuming and expensive. Crop simulation models can provide an alternative, less time-consuming and inexpensive means of determining the optimum breeding strategies. These models consider the complex interactions between weather, soil properties and management factors. CERES-Wheat is one of best models which can simulate the growth and development of wheat. Therefore, in present paper DSSAT 4.5-CERES-Wheat was evaluated for predicting growth, phenology stages and yield of wheat (cultivar of Chamran) for Ahvaz region. For this purpose, one Experimental research was designed at the experimental farm of the Khuzestan Agriculture And Natural Resources Research Center (KANRC), located at Ahvaz in 2010-2011 growth season. Using results of this research and two another research, CERES-Wheat model was evaluated. Results of evaluation showed that most and less NRMSE were obtained for simulation of maximum Leaf Area Index (6%) and phenology stages (2%), respectively. Therefore, it can conclude that CERES-Wheat is a powerful model in order to simulation of growth, phenology stages and yield of wheat.

Keywords: Wheat, CERES-Wheat model, Evaluation, Simulation

1- Assistant Professor, Department of Water and Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University, Shahrood, Iran.

(* - Corresponding Author Email: delghandi@gmail.com)

2,5- Assistant Professor and Lecuture, Khuzestan Agriculture and Natural Resources Research Center (KANRC), Ahwaz. Iran

3 - Professor, Department of Irrigation and Drainage Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran

4 - Associate Professor, Department of Water Engineering, Tehran University, Tehran, Iran