نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۲۹۹-۲۹۰

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 290-299

واسنجی و ارزیابی مدل CSM-CERES-Maize برای ذرت علوفه ای رقم سینگل کراس ۷۰٤ در ورامین

ملیحه ربیع[۱] - سیدمجید میرلطیفی[۲*] - مهدی قیصری[۳]

تاریخ دریافت:۸۹/۱۲/۱۶
تاریخ پذیرش:۹۰/۱۰/۲۵

چکیده

مدل‌های گیاهی فرآیند محور، قبل از استفاده نیاز به واسنجی و ارزیابی دارند. هدف از این تحقیق واسنجی مدل CSM-CERES-Maize با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای ذرت علوفه‌ای در دو سال زراعی و ارزیابی آن برای سطوح مختلف عمق آبیاری و کود نیتروژنی می‌باشد. برای واسنجی مدل از ابزار GENCALC استفاده شد. داده‌های واقعی مورد نیاز مدل از یک تحقیق میدانی دو ساله ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ بدست آمد. طرح آزمایشی در چهار سطح آبیاری و سه سطح کود نیتروژنی در سه تکرار انجام شد. حداکثر شاخص سطح برگ و وزن زیست‌توده در زمان برداشت فیزیولوژیک، تاریخ‌های گرده افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک برای واسنجی مدل استفاده شدند. وزن زیست‌توده طی دوره رشد برای ارزیابی مدل استفاده شد. پس از واسنجی مدل با استفاده از ابزار GENCALC، شاخص‌های آماری استفاده شده در واسنجی هماهنگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای را نشان دادند. ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) برای تاریخ‌های گرده افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک ۱ و ۲ روز، برای وزن زیست‌توده در زمان برداشت فیزیولوژیک ۹۸۰ و ۱۳۱۳ کیلوگرم در هکتار و برای حداکثر شاخص سطح برگ ۰/۷۵ و ۰/۴۴ به ترتیب در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ بودند. ضرایب ژنتیکی ذرت علوفه‌ای واریته سینگل کراس ۷۰۴ شامل P1 برابر ۲۳۶ (°C)، P2 برابر ۰/۴ روز، P5 برابر ۷۹۰ (°C)، G2 برابر ۸۳۳ عدد، G3 برابر ۸/۵ میلی‌گرم در روز و PHINT برابر ۵۵ (°C) به‌دست آمد. نتایج ارزیابی مدل نشان داد که مقادیر RMSE در ۱۲ تیمار سطوح مختلف آبیاری و کود نیتروژنه برای وزن زیست‌توده بین ۹ تا ۱۴۸۳ کیلوگرم در هکتار در دو سال متغیر بود. ضریب تبیین (r^2) برای وزن زیست‌توده بین ۰/۸۶ تا ۰/۹۹ در دو سال کشت به‌دست آمد. ضرایب به‌دست آمده کاربرد مدل CSM-CERES-Maize را برای ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ امکان‌پذیر نشان داد و نتایج ارزیابی، قابلیت مدل در شبیه‌سازی عملکرد ذرت علوفه‌ای در شرایط کم‌آبیاری و سطوح مختلف کود نیتروژنی را تایید نمود.

واژه‌های کلیدی : مدل‌های گیاهی، DSSAT، واسنجی، رقم سینگل کراس ۷۰۴

مقدمه

مدل‌های فیزیکی شبیه‌سازی گیاه به‌طور گسترده در تحقیقات کشاورزی، مدیریت گیاه و تعیین و توصیه خط مشی در فعالیت‌های کشاورزی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. مدل شبیه سازی CERES برای غلات (۱۲ و ۱۴) و مدل‌های CROPGRO برای لگومینوز (۴) در بسته نرم افزاری DSSAT v4.5 توسعه داده شده است. این مدلها رشد، توسعه و عملکرد محصول رقم‌های مختلف گیاه، شرایط رطوبت خاک در لایه‌های مختلف خاک، تبخیر-تعرق گیاه، نیتروژن گیاه و خاک طی دوره رشد گیاه را برای شرایط خاص آب و هوایی، خصوصیات خاک و فعالیت‌های زراعی شبیه‌سازی می‌کنند (۱۰). مدل‌های مذکور در مناطق مختلف جهان و برای ارقام متنوع گیاهی استفاده و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. هدف از به‌کارگیری مدل‌های گیاهی بهبود و افزایش محصول، کاهش خطرات تولید و مدیریت ورودی‌ها نظیر آبیاری و کوددهی به طور مناسب و قابل قبول می‌باشد (۱۶).

مدل‌های گیاهی قبل از استفاده برای رقم‌های جدید بایستی واسنجی شوند یا به عبارتی باید ضرایب ژنتیکی یک رقم جدید

۱و۲- دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تربیت مدرس
(*- نویسنده مسئول : Email: Mirlat_M@modares.ac.ir)
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

استخراج شوند. اطلاعات دقیق از مراحل مختلف رشد و توسعه گیاه، جزئیات مربوط به محصول و ماده خشک تولیدی برای واسنجی مدل‌های گیاهی مورد نیاز می‌باشد. به منظور دقت بیشتر در تعیین ضرایب گیاهی، توصیه شده است که گیاه مورد نظر در چند تاریخ کاشت در یک مکان، یا با یک تاریخ کاشت در چند منطقه کشت شود (۱۱). ضرایب ژنتیکی یا خصوصیات ویژه یک رقم گیاهی بیانگر خصوصیات مربوط به رشد و توسعه سبزینگی، گرده افشانی، گل‌دهی و رسیدن یک ژنوتیپ گیاه می‌باشد. به‌طور خلاصه، کمی کردن چگونگی پاسخ گیاه به شرایط محیطی از طریق تعیین ضرایب ژنتیکی گیاه مطرح می‌شود. پس از تعیین ضرایب گیاهی بایستی مدل به وسیله داده هایی به غیر از داده‌های استفاده شده در واسنجی، ارزیابی شود.

فریسی و همکاران (۷)، در سال ۲۰۰۱ مدل CERES-Maize را در هفت منطقه در "میزوری مرکزی" بر اساس شرایط متفاوت موقعیت زمین، رقوم ارتفاعی، عمق خاک لایه رسی غیر قابل نفوذ و مقدار محصول تولیدی واسنجی نمودند. واسنجی مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه، شاخص سطح برگ و محصول دانه ذرت صورت گرفت. نتایج تحقیق مذکور نشان داد که برای شبیه‌سازی رشد و توسعه ریشه در خاک‌هایی با مقدار رس زیاد و لایه غیرقابل‌نفوذ و محدود کننده، تصحیح‌هایی بایستی انجام شود. مدل، مقدار محصول و متغیرهای وابسته به آن را خوب شبیه‌سازی نمود. اما در تحقیق مذکور توصیه نمودند به منظور افزایش دقت شبیه‌سازی مدل، تاثیر جریان زیرسطحی در مناطقی که جریان روبه بالا وجود دارد نیز لحاظ شود.

ارزیابی عملکرد مدل CERES-Maize در شرایط اقلیمی نیمه-خشک مدیترانه طی دو سال تحت سه وضعیت رطوبتی خاک (آبیاری کامل و دو رژیم تنش آبی) بررسی شد (۱۳). نتایج نشان داد که اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای شاخص سطح برگ ماکزیمم، مقدار محصول زیست‌توده و دانه در تیمار آبیاری کامل کمتر از ۱۰ درصد بود. اما در شرایط تنش آبی اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای شاخص‌های معرفی شده بین ۱۵ تا ۴۶ درصد متغیر بود. نونا و همکاران (۱۳)، پیشنهاد کردند مدل CERES-Maize با توجه به توابع تنش آبی برای شرایط آب و هوایی مورد مطالعه تصحیح و سازگار شود.

اسدی و کلمنت (۴)، در سال ۲۰۰۶ مدل CERES-Maize از بسته نرم افزاری DSSAT v3.5 را برای شبیه‌سازی آبشویی نیترات، مقدار محصول و ظرفیت رطوبت خاک در شرایط آب و هوایی مرطوب ارزیابی نمودند. نتایج این تحقیق حاکی از آن بود که مقدار محصول دانه در بعضی تیمارها بیش از مقدار واقعی تخمین زده شد. به طور کلی جذب نیتروژن بیش از مقدار واقعی پیش‌بینی شده و مقدار نیتروژن آبشویی شده و مقدار رطوبت خاک کمتر از واقعیت به وسیله مدل شبیه‌سازی گردید. همچنین در تحقیق مذکور نتیجه گرفته شد که آبشویی نیترات به علت زهکشی ضعیف خاک کمتر از مقدار واقعی برآورد گردید.

ایران کشوری خشک و نیمه‌خشک است و کمبود منابع آب و بحران خشکسالی همیشه کشاورزی ایران را تحت تاثیر قرار داده است. به طوری که کشاورزان مجبور به استفاده از مدیریت کم‌آبیاری در طی فصل رشد می‌باشند. کاهش آب کاربردی موجب کاهش برداشت نیتروژن از خاک می‌شود (۸ و ۹). بنابراین بررسی اثر متقابل آب و نیتروژن بر عملکرد گیاهان به منظور مدیریت منابع آب و کود نیتروژنی و افزایش بهره‌وری ضروری است. بررسی استراتژی‌های مختلف آب و نیتروژن در مزرعه بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. استفاده از مدل‌های گیاهی برای بررسی اثر متقابل آب و نیتروژن بر عملکرد گیاهان در صرفه‌جویی منابع و افزایش تولید بسیار راهگشا می‌باشند. مدل‌های گیاهی قبل از استفاده نیاز به واسنجی و ارزیابی دارند. در بین گیاهان رایج در ایران ذرت علوفه‌ای گیاهی مهم در الگوی کشت بسیاری از مناطق ایران به عنوان کشت دوم پس از گندم و جو می‌باشد. هدف از این تحقیق واسنجی و ارزیابی مدل CSM-CERES-Maize در سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی و تعیین ضرایب ژنتیکی ذرت علوفه‌ای واریته سینگل کراس ۷۰۴ در ورامین می باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل

ایجاد پرونده[۱] های مورد نیاز برای اجرای مدل CSM-CERES-Maize

پرونده خاک: یکی از پرونده‌های مورد نیاز مدل CSM-CERES-Maize پرونده خاک می‌باشد. اطلاعات مربوط به درصد ذرات شن، سیلت و رس خاک، ماده آلی اولیه خاک، اسیدیته و شوری خاک، وزن مخصوص ظاهری خاک، رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی در لایه‌های مختلف خاک در این پرونده ذخیره می‌گردد (جدول ۱).

پرونده آب و هوا: دومین پرونده مورد نیاز مدل، پرونده آب و هوا نام دارد و داده‌های روزانه هوا شامل حداقل و حداکثر دمای هوا، بارش و تعداد ساعات آفتابی برای دو سال زراعی با استفاده از ابزار WeatherMan در این پرونده وارد شد.

۱- پرونده (file)

جدول ۱- خصوصیات خاک مزرعه که به پرونده خاک در مدل DSSAT v4.5 وارد شد

عمق (cm)	رس (٪)	سیلت (٪)	وزن مخصوص ظاهری (g/cm^3)	ظرفیت زراعی (FC) cm^3/cm^3	نقطه پژمردگی (PWP) cm^3/cm^3	ظرفیت اشباع خاک cm^3/cm^3	مواد آلی (٪)
۵	۳۱	۴۳	۱/۳۷	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۴۴	۰/۶۶
۱۵	۳۱	۴۳	۱/۳۷	۰/۳۰	۰/۱۴	۰/۴۵	۰/۶۶
۲۰	۳۲	۴۵	۱/۳۷	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۶۶
۳۰	۳۲	۴۵	۱/۳۷	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۷۳
۴۰	۳۲	۴۵	۱/۳۷	۰/۳۱	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۷۳
۵۰	۳۱/۵	۴۴	۱/۳۷	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۴۷
۶۰	۳۱/۵	۴۴	۱/۳۷	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۴۵	۰/۴۷

پرونده‌های مربوط به اطلاعات مدیریت زراعی (X-file, A-file, T-file): ابزار XBuild از مجموعه ابزارهای مدل DSSAT v4.5 برای ساخت پرونده X استفاده شد. داده‌های برداشت شده در مزرعه شامل تاریخ کاشت و برداشت، تاریخ‌های مهم فنولوژی گیاه، مشخصات کاشت نظیر عمق و تراکم کاشت، فعالیت‌های مدیریتی نظیر عمق و زمان آبیاری و نوع، زمان و مقدار کود مصرفی و شرایط اولیه خاک از نظر مقادیر نیتروژن و رطوبت موجود، نوع واریته کشت شده و تیمارهای شبیه سازی در پرونده X به مدل معرفی شدند. عملکرد کل وزن زیست‌توده در زمان برداشت، حداکثر شاخص سطح برگ، تاریخ گرده افشانی، تاریخ رسیدگی فیزیولوژیک از دوازده تیمار آزمایشی در دو سال زراعی برای ساخت پرونده A استفاده شد. عملکرد کل وزن زیست توده طی دوره رشد، شاخص سطح برگ طی دوره رشد از دوازده تیمار آزمایشی در دو سال زراعی برای ساخت پرونده T استفاده شد. داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های مشاهده‌ای مذکور از مزرعه در ابزاری به نام ATCreate وارد شده و به صورت دو فایل مجزا (A-file و T-file) ایجاد شد.

ضرایب ژنتیکی ذرت در مدل CSM-CERES-Maize

مدل برای واریته‌های مختلف ذرت و در مناطق مختلف دنیا واسنجی شده و ضرایب ژنتیکی به‌دست آمده در بانک اطلاعاتی مدل موجود می‌باشد. برای استفاده از مدل CSM-CERES-Maize برای ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در یک منطقه جدید مانند ورامین لازم است ابتدا ضرایب ژنتیکی این رقم تخمین زده شوند. برای واسنجی مدل CSM-CERES-Maize نیاز به شش ضریب ژنتیکی می‌باشد که با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای قابل استخراج می‌باشند.

ضرایب مذکور شامل P1 (مقدار درجه روز رشد،GDD؛ از مرحله جوانه‌زنی تا انتهای مرحله جوانی[1] براساس دمای پایه ۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد)، P2 (بیان کننده اثر مدت روشنایی، میزان تأخیر در رشد ذرت در صورت عدم تأمین طول روز (فتوپریود) مطلوب که با قرار گرفتن گیاه در فتوپریودی با یک ساعت کوتاه تر از فتوپریود مطلوب اتفاق می‌افتد)، P5 (مقدار GDD از زمان ابریشمی شدن تا رسیدن فیزیولوژیک بر حسب درجه سانتی گراد. دمای پایه ذرت ۸ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته می‌شود)، PHINT (مقدار GDD مورد نیاز برای ظاهر شدن یک برگ جدید یا به عبارتی زمان گرمایی[2] بین ظاهر شدن دو برگ متوالی بر حسب درجه سانتی‌گراد)، G2 (معرف حداکثر تعداد دانه در هر گیاه که بر حسب تعداد دانه در گیاه بیان می‌شود) و G3 (سرعت رشد دانه در مرحله پر شدن دانه، در شرایط بهینه رشد را بیان کرده و برحسب میلی‌گرم در روز می‌باشد) می‌باشند.

ضرایب ژنتیکی عموماً به‌صورت دستی و با سعی و خطا از طریق مهندسی معکوس تعیین می‌گردند. این کار بسیار وقت گیر بوده و تمرکز بالایی نیاز دارد. استفاده از روش مذکور برای بسیاری از کاربران که با مدل CERES آشنایی کافی ندارند غیرممکن است. در این راستا یک ابزار محاسبگر ضرایب ژنتیکی[3] (GENCALC) در نسخه جدید بسته نرم افزاری DSSAT v4.5 اضافه شده است. ابزار GENCALC ضرایب ژنتیکی رقم مورد نظر را با استفاده از روش‌های بهینه‌یابی بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده در مزرعه استخراج می‌کند.

طرح آزمایشی مزرعه

طرح آزمایشی در قطعه زمینی با ابعاد ۸۵×۲۰۵ متر در متر واقع در ایستگاه تحقیقاتی سازمان تحقیقات کشاورزی در ورامین در دو

1- Juvenile phase
2- Thermal time
3- Genotype Coefficient Calculator

سال زراعی (۱۳۸۲ و ۱۳۸۳) انجام گردید. مشخصات ایستگاه مذکور شامل، ارتفاع از سطح دریا ۹۷۳ متر، طول و عرض جغرافیایی به ترتیب "۲ ´۳۸ °۵۱ شرقی و "۳۸ ´۲۰ °۳۵ شمالی می‌باشد. طرح آزمایشی در چهار سطح آبیاری شامل دو سطح تنش آبی با ضریب کمتر از تخلیه مجاز رطوبتی (0.7SMD[1] و 0.85SMD)، یک سطح آبیاری کامل (1.0SMD) و یک سطح بیش آبیاری (1.13SMD) و سه سطح نیتروژن صفر، ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار، در سه تکرار در قالب بلوک‌های نواری اجرا گردید. ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در تاریخ دهم مرداد ماه سال ۱۳۸۲ و در تاریخ پنجم تیرماه سال ۱۳۸۳ کشت گردید (۱).

تا زمان استقرار کامل گیاه تمام تیمارها یکسان آبیاری شدند، پس از آن تیمارها تا پایان فصل رشد ذرت اعمال گردید. زمان آبیاری تیمار شاهد و سایر تیمارها یکسان بود. زمانی که ۵۰ درصد آب قابل استفاده از عمق توسعه ریشه ذرت در تیمار شاهد تخلیه شد، تمام تیمارها آبیاری شدند. مقدار آب دریافتی در تیمارهای مختلف بر اساس تامین کمبود آب خاک تا حد ظرفیت زراعی در تیمار شاهد محاسبه شد و سایر تیمارهای آبیاری درصدی از آن عمق آب آبیاری را دریافت می کردند. ضرایب شامل ۰/۷، ۰/۸۵، ۱/۰ و ۱/۱۳ به ترتیب برای دو سطح کم آبیاری، تیمار شاهد و تیمار بیش آبیاری بود.

از یک سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت-آپاش متحرک برای آبیاری استفاده شد. برای مدیریت آبیاری در سال اول رطوبت خاک از روش وزنی و در سال دوم با استفاده از نوترون‌متر در نیمرخ خاک اندازه‌گیری شد. منبع نیتروژن کود اوره بود و از طریق سیستم آبیاری با مدیریت کود آبیاری طی دوره رشد در اختیار گیاه قرار داده شد. شاخص سطح برگ و وزن زیست‌توده در طی دوره رشد و همچنین حداکثر شاخص سطح برگ و وزن زیست‌توده نهایی در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. قطر ساقه و ارتفاع بوته در زمان برداشت اندازه‌گیری شد. تمام مراحل رویشی و زایشی ذرت طی دوره رشد ثبت شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه کلیماتولوژی ورامین که در فاصله ۵۰۰ متری طرح قرار داشت اخذ گردید (۲ و ۳).

پس از تهیه پرونده‌های X، T و A در مدل DSSAT، ابزار GENCALC برای تخمین ضرایب ژنتیکی ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ استفاده شد. رقم کاشته شده در بخش مدیریت گیاه فایل X فرا خوانده شد، در این مرحله برای اولین اجرای برنامه GENCALC ضرایب ژنتیکی فرضی داخل فایل ژنتیکی ذرت نوشته شد. برنامه GENCALC با سعی و خطا ضرایب ژنتیکی را ارائه می‌کند. با استفاده از روش سعی و خطا و با مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای شاخص‌های نهایی (A-file)، با هدف حداقل خطای ممکن ضرایب ژنتیکی قابل قبول به‌دست آمد. برنامه GENCALC بر اساس شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) به کاربر این اجازه را می‌دهد که مقدار هر یک از ضرایب را با حداقل خطای ممکن انتخاب کند. زمانی که همه ضرایب ژنتیکی با حداقل خطای ممکن و ضریب تبیین (r^2) بالا بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده تعیین شود، ضرایب محاسبه شده، قابل قبول می‌باشد.

دقت شبیه‌سازی مدل با شاخص‌های آماری RMSE، d و r^2 بررسی شد. شاخص آماری RMSE بیان‌گر میانگین تفاوت بین داده شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای می‌باشد و از رابطه زیر محاسبه شد (۱۵):

$$MSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۱)$$

$$SE_n = \frac{RMSE \times 100}{\overline{O}} \quad (۲)$$

در روابط فوق Pi: مقادیر شبیه‌سازی، Oi: مقادیر مشاهده شده، n: تعداد مشاهده‌ها و $\overline{O}$: مقدار میانگین مشاهده‌ها می‌باشد. مقدار RMSEn بر حسب درصد بیان می‌شود و نسبت اختلاف میان داده-های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی به متوسط مشاهده‌ها را نشان می‌دهد. اگر مقدار RMSEn کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی بسیار خوب، اگر RMSEn بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد باشد، شبیه-سازی خوب، اگر RMSEn بیش از ۲۰ درصد و کمتر از ۳۰ درصد شود، شبیه‌سازی نسبتاً خوب و با RMSEn بالای ۳۰ درصد شبیه-سازی ضعیف ارزیابی می‌شود (۱۵). شاخص آماری توافق ویلموت (d) دارای مقداری بین صفر تا یک است که مقدار یک بیانگر بهترین برازش می‌باشد و از رابطه زیر محاسبه می‌شود (۱۵):

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - \overline{O}| + |O_i - \overline{O}|)^2}\right], 0 \le d \le 1 \quad (۳)$$

نتایج و بحث

واسنجی مدل

مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی شده مدل و اندازه‌گیری شده در مزرعه، برای حداکثر شاخص سطح برگ (LAIX) و وزن زیست‌توده در زمان برداشت فیزیولوژیک (Tops wt) ذرت علوفه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ طی دو سال زراعی در جدول ۲ ارائه شده است. RMSE

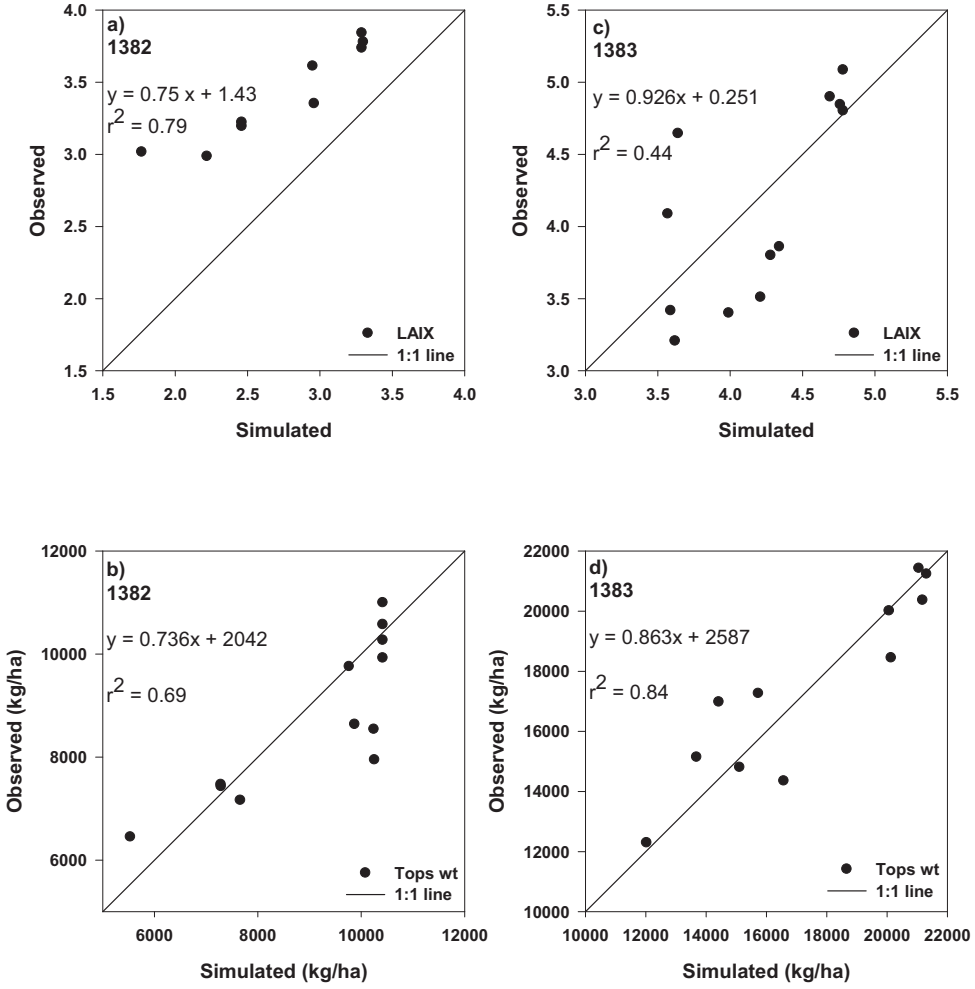
1- Soil Moisture Depletion

برای حداکثر شاخص سطح برگ برابر ۰/۷۹ و ۰/۴۹ مترمربع بر متر-مربع به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به‌دست آمد. RMSE برای وزن زیست‌توده در سال ۱۳۸۲ برابر بـا ۹۸۰ کیلـوگرم در هکتـار و در سال ۱۳۸۳، ۱۳۱۳ کیلوگرم در هکتار حاصل شد. RMSE برای تاریخ گرده افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک به‌ترتیب ۱ و ۲ روز برای دو سال زراعی بود.

جدول ۲- مقادیر متوسط داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده به همراه شاخص‌های آماری RMSE و r^2 در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ براساس واسنجی مدل CSM-CERES-Maize به‌وسیله برنامه GENCALC

	مشاهده شده		شبیه سازی شده		RMSE		r^2	
شاخص گیاهی	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۲	۱۳۸۳	۱۳۸۲	۱۳۸۳
LAIX	۳/۶۱	۴/۱۳	۲/۸۸	۴/۱۹	۰/۷۹	۰/۴۹	۰/۷۵	۰/۴۴
Tops wt	۸۷۶۴	۱۷۸۸۴	۹۱۳۱	۱۷۷۲۱	۹۸۰	۱۳۱۳	۰/۶۹	۰/۸۴
An Date	۷۶	۵۷	۷۷	۵۶	۱	۱	–	–
Mt Date	–	۱۰۳	–	۱۰۱	–	۲	–	–

LAIX : حداکثر شاخص سطح برگ، Tops wt : وزن زیست‌توده در موقع برداشت فیزیولوژیک بر حسب کیلوگرم در هکتار، An Date : تاریخ گرده‌افشانی و Mt Date : تاریخ رسیدن فیزیولوژیک



شکل ۱- مقایسه داده‌های مشاهده‌ای با شبیه‌سازی شده برای ۱۲ تیمار مختلف آب کاربردی و کود نیتروژنی a) حداکثر شاخص سطح برگ سال ۱۳۸۲، b) وزن زیست‌توده در زمان رسیدن فیزیولوژیک سال ۱۳۸۲، c) حداکثر شاخص سطح برگ سال ۱۳۸۳ و d) وزن زیست‌توده در زمان رسیدن فیزیولوژیک سال ۱۳۸۳، LAIX: حداکثر شاخص سطح برگ و Tops wt: وزن زیست‌توده در زمان رسیدن فیزیولوژیک

مقادیر وزن زیست‌توده در زمان رسیدگی فیزیولوژیک و حداکثر شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده و مقادیر واقعی آنها پس از واسنجی مدل برای تمام ۱۲ تیمار کود و آب کاربردی در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. نتایج واسنجی مدل CSM-CERES-Maize با استفاده از ابزار GENCALC برای سطوح مختلف آب کاربردی و کود نیتروژنه در این شکل مشاهده می‌شود. نکته بسیار مهم در این تحقیق نتیجه رضایت بخش واسنجی مدل برای سطوح مختلف کود نیتروژن و آب کاربردی است. سایر محققان مدل CERES-Maize را برای واریته‌های رایج کشور خودشان درشرایط آبیاری‌کامل (۱۳) و یا فقط سطوح مختلف کود نیتروژنی (۴) واسنجی و ارزیابی نموده‌اند. مقایسه مقادیر RMSE و r^2 به‌دست‌آمده در این تحقیق با سایر تحقیقات (۷،۴، ۱۳ و ۱۷) تأییدی بر دقت ضرایب ژنتیکی به‌دست آمده در این تحقیق برای ذرت علوفه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ می‌باشد.

ضرایب ژنتیکی ذرت علوفه‌ای واریته سینگل کراس ۷۰۴ که به‌وسیله برنامه GENCALC به‌دست آمد، در جدول ۳ ارائه شده است. در تحقیقات گسترده‌ای که بر روی ذرت در مناطق مختلف جهان انجام شده است مقادیر ضریب ژنتیکی ذرت را در بازه‌های مختلفی به‌دست آورده‌اند. مقدار P1 بین مقادیر ۱۰۰ تا ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد در روز، P2 در محدوده صفر تا چهار ساعت در روز، P5 بین ۶۰۰ تا ۹۰۰ درجه روز رشد، PHINT در محدوده ۴۵ تا ۵۵ درجه روز رشد در هر ظهور برگ، G2 حداکثر ۱۰۰۰ دانه در گیاه و G3 بین ۵ تا ۱۲ میلی‌گرم در روز گزارش شده است (۶).

ارزیابی مدل CSM-CERES-Maize

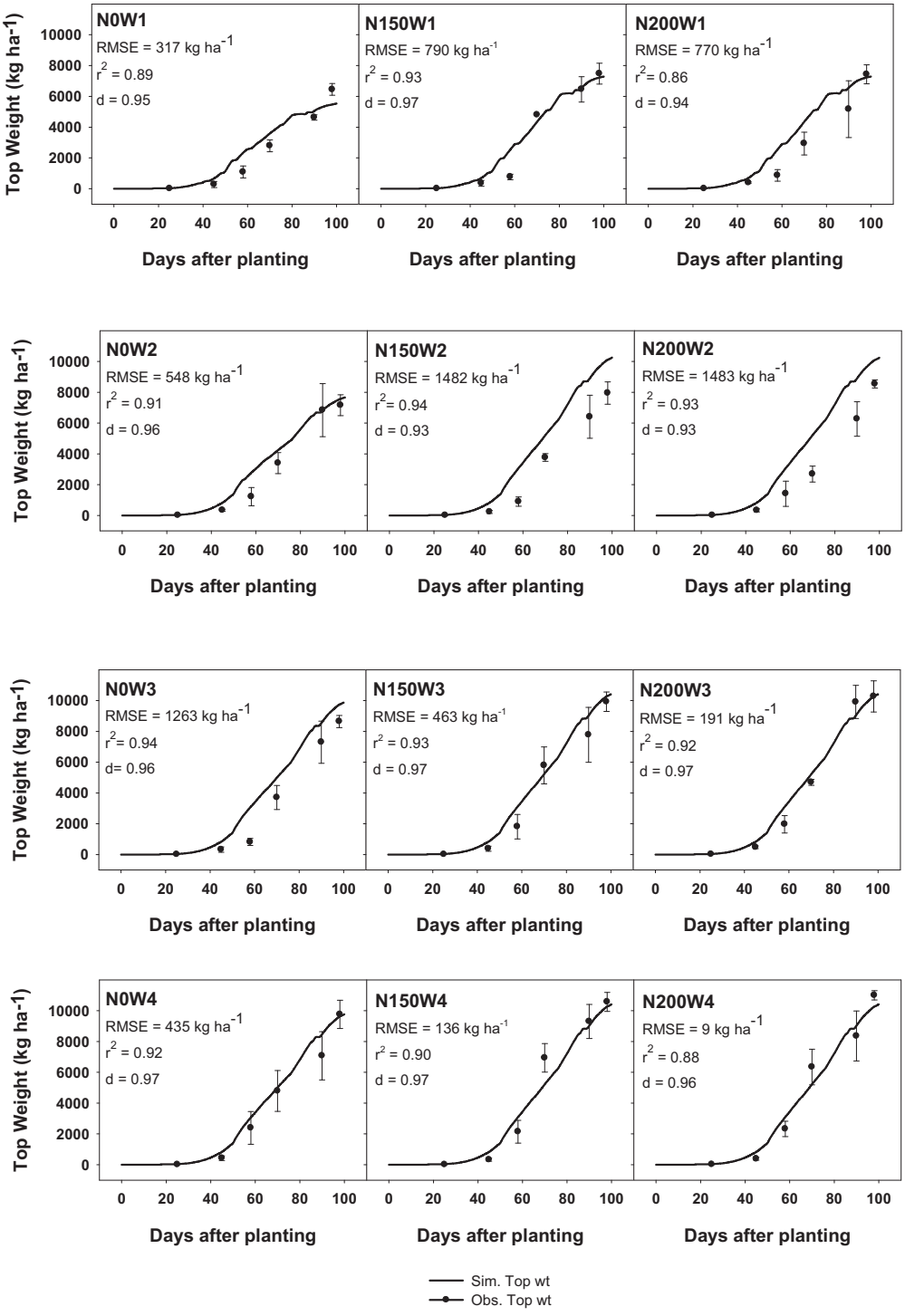
برای ارزیابی مدل از داده‌هایی مستقل از داده‌های مورد استفاده در واسنجی مدل استفاده شد. مقادیر وزن زیست‌توده و شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده در طی دوره رشد که در پرونده T وارد شده بود با مقادیر شبیه‌سازی مدل مورد بررسی قرار گرفت. متوسط وزن زیست‌توده اندازه‌گیری شده در سه تکرار برای ۱۲ تیمار و مقادیر شبیه‌سازی شده برای ۱۲ تیمار عمق آبیاری و کود نیتروژنی کاربردی و شاخص‌های آماری RMSE، r^2 و d در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، در سال ۱۳۸۲، مقدار RMSEn وزن زیست‌توده در سطح کودی N0 برای سطوح مختلف آبیاری به جز سطح آبیاری کامل (W3) کمتر از ۲۰ درصد بوده و شبیه‌سازی خوب صورت گرفته است. در تیمار N0W3 مقدار RMSEn معادل ۳۰ درصد شده و در این تیمار شبیه‌سازی نسبتاً خوب بود. با افزایش کود نیتروژنه به سطح ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار در سطوح کم آبیاری دقت شبیه‌سازی‌ها کمتر از سطوح آبیاری کامل و بیش‌آبیاری بوده و این روند در سطح کودی N200 نیز مشاهده می‌شود. کمترین خطای شبیه‌سازی مربوط به سطح آبی W4 می‌باشد. شبیه‌سازی مدل برای تیمارهای N200W4 و N150W4 به ترتیب با RMSEn برابر ۱ و ۲ درصد، بسیار خوب بوده است. با افزایش مصرف کود نیتروژنه خطای شبیه‌سازی مدل در سطوح کم‌آبیاری افزایش یافته در صورتی که در سطوح آبیاری کامل و بیش‌آبیاری دقت شبیه‌سازی‌ها افزایش می‌یابد. مطابق شکل ۳ روند تشریح شده در سال ۱۳۸۲ برای سال ۱۳۸۳ نیز رخ داده است. در سال ۱۳۸۳ در سطح کودی N200 شاخص RMSEn در تمامی سطوح آبیاری کمتر از ۱۰ درصد بوده و شبیه‌سازی‌های مدل برای وزن زیست‌توده بسیار خوب انجام گرفته است. در سطح کودی N150 نیز دقت شبیه‌سازی‌ها با توجه به شاخص‌های آماری خوب بوده و تیمار آبیاری کامل این سطح کودی دارای RMSEn برابر ۱ درصد بود. در سطح کودی N0 شبیه‌سازی‌ها قابل قبول بوده ولی دقت آن با توجه به شاخص آماری RMSEn کمتر از سطوح کودی ۱۵۰ و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار برآورد شد (RMSEn < ٪۲۰).

در شکل ۲ نتایج شبیه‌سازی وزن زیست‌توده مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه برای ۱۲ تیمار با چهار سطح آبیاری و سه سطح مصرف کود نیتروژنه در سال ۱۳۸۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمام تیمارها مقادیر وزن زیست‌توده با دقت قابل‌قبول شبیه‌سازی شده است. محدوده تغییرات شاخص آماری RMSE برای وزن زیست‌توده برابر ۹ و ۱۴۸۳ کیلوگرم در هکتار بود و به ترتیب در تیمار N200W4 و N200W2 اتفاق افتاد. هرچه عمق آب کاربردی افزایش یافت ضریب تبیین (r^2) نیز بیشتر شده و همبستگی میان داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای شاخص گیاهی مورد مطالعه بیشتر گردید ($r^2 > ۰/۸۵$).

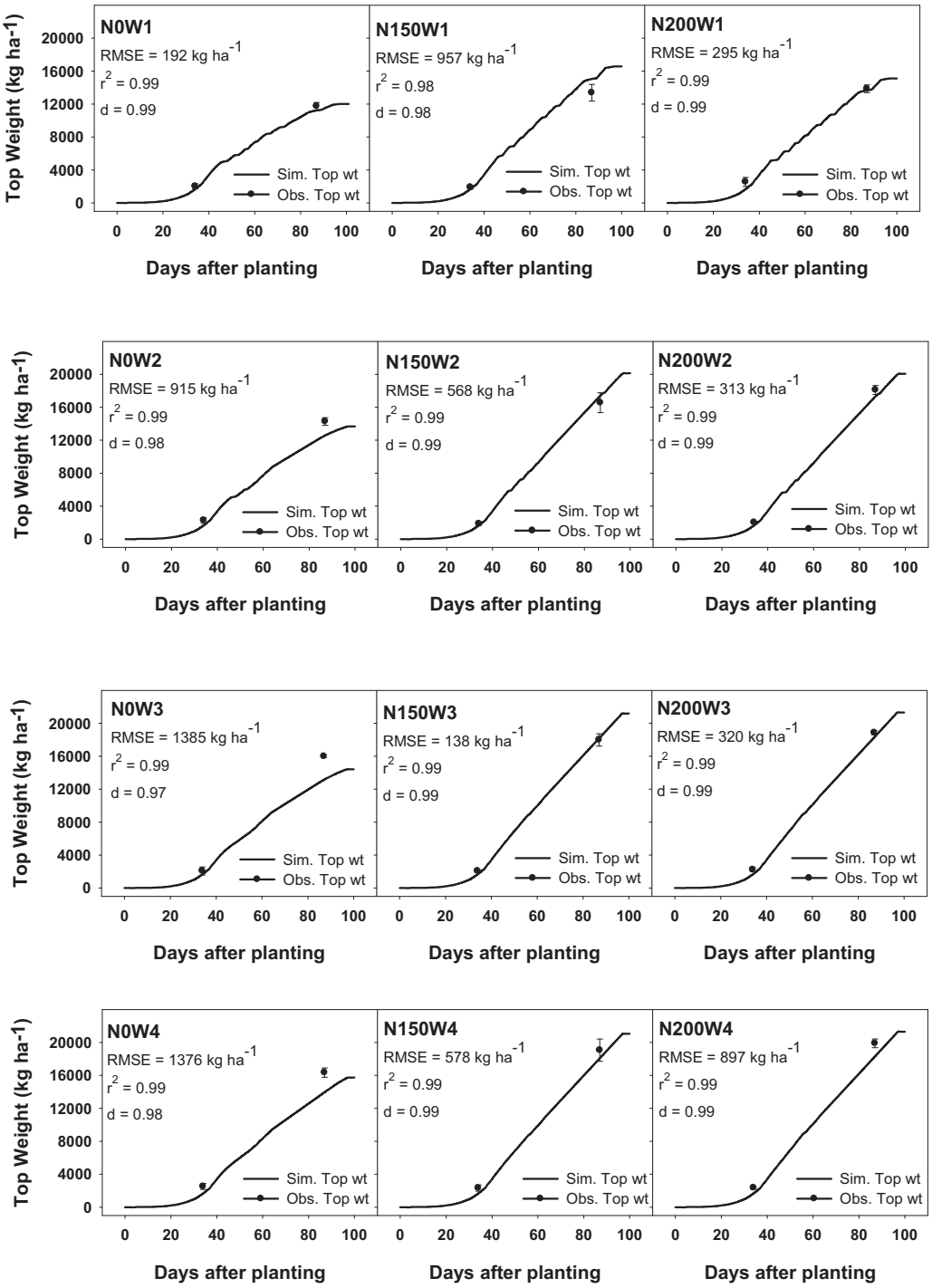
جدول ۳- ضرایب ژنتیکی به‌دست آمده به‌وسیله ابزار GENCALC برای ذرت علوفه‌ای سینگل کراس ۷۰۴

واریته ذرت علوفه‌ای	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
سینگل کراس ۷۰۴	۲۳۶	۰/۴۰۰	۷۹۰	۸۳۳	۸/۵	۵۵

P1: مقدار درجه روز رشد (GDD) از مرحله جوانه‌زنی تا انتهای فاز جوانی (براساس دمای پایه ۸ درجه سانتی‌گراد)، P2: اثر مدت روشنایی بر حسب روز بر ساعت، P5: مقدار فتوپریود از زمان ابریشمی شدن تا رسیدن فیزیولوژیک بر حسب درجه سانتی‌گراد، G2: حداکثر تعداد دانه در هر گیاه که بر حسب تعداد دانه در گیاه، G3: سرعت رشد دانه در مرحله پر شدن دانه برحسب میلی‌گرم در روز، PHINT: فاصله زمانی که بین ظاهر شدن دو برگ به طور متوالی بر حسب درجه سانتی‌گراد



شکل ۲- مقادیر وزن زیست‌توده شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در تیمارهای مختلف در سال ۱۳۸۲



شکل ۳- مقادیر وزن زیست‌توده شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در تیمارهای مختلف در سال ۱۳۸۳

در سال ۱۳۸۳ مقادیر وزن زیست‌توده در دو نوبت، ابتدا و انتهای دوره رشد ذرت در سال ۱۳۸۳ اندازه‌گیری شده بود. از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده وزن‌زیست توده در ۱۲ تیمار آب و کود نیتروژنی در سال ۱۳۸۳ چنین نتیجه‌گیری می‌شود که همبستگی بالایی بین تخمین مدل و داده های مشاهده‌ای وجود دارد (r2= ۰/۹۹). کمترین و بیشترین مقدار RMSE برای وزن زیست‌توده در تیمارهای N150W3 و N0W3 به‌ترتیب برابر ۱۳۸ و ۱۳۸۵ کیلوگرم در هکتار اتفاق افتاد (شکل ۳). ضریب توافق (d) و همچنین ضریب تبیین (r^2)

بیش از ۰/۹۷ حاکی از شبیه سازی قابل‌قبول وزن زیست‌توده به وسیله مدل CSM-CERES-Maize می‌باشد.

نتیجه‌گیری

برنامه GENCALC ابزار کارآمدی برای تعیین ضرایب ژنتیکی گیاه ارزیابی شد، به ویژه زمانی که تعداد تیمارهایی که برای واسنجی مدل استفاده می‌شوند زیاد باشند. صرف وقت کمتر، کارایی بیشتر و دقت بالاتر در واسنجی از ویژگی‌های ابزار محاسبه‌گر GENCALC می‌باشد. مدل برای پیش‌بینی وزن زیست‌توده در شرایط مختلف آب و کود نیتروژنه کاربردی قابل اعتماد است. مصرف زیاد کود نیتروژنی در سطوح کم‌آبیاری موجب کاهش دقت مدل در شبیه‌سازی وزن زیست-توده شد. کاهش مصرف کود نیتروژنی از حد توصیه شده در سطوح آبیاری کامل و بیش‌آبیاری سبب کاهش دقت مدل گردید. به‌طور کلی نتایج ارزیابی مدل برای سطوح مختلف آب و کود نیتروژنی مصرفی خوب بود و براساس ضرایب ژنتیکی ارائه شده در این مقاله امکان استفاده از مدل برای بررسی استراتژی‌های مختلف مدیریتی آب و کود نیتروژنی روی ذرت علوفه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ در ایران فراهم آمده است.

منابع

۱- قیصری م. ۱۳۸۵. تأثیر کود-آبیاری ذرت با روش آبیاری بارانی بر روی آبشویی نیترات، تحت سطوح مختلف کود و آب کاربردی. رساله دکتری علوم و مهندسی آبیاری. دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.

۲- قیصری م.، میرلطیفی س.م.، همایی م. و اسدی م.ا. ۱۳۸۵. آبشویی نیترات در سیستم آبیاری بارانی تحت مدیریت کود-آبیاری ذرت. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۷، شماره ۲۹، ص : ۱۱۸-۱۰۱.

۳- قیصری م.، میرلطیفی س.م.، همایی م. و اسدی م.ا. ۱۳۸۵. تعیین نیاز آبی ذرت علوفه ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، جلد ۷، شماره ۲۶، ص : ۱۴۲-۱۲۵.

4- Asadi M.E. and Clemente R.S. 2003. Evaluation of CERES-Maize of DSSAT model to simulate nitrate leaching, yield and soil moisture content under tropical conditions. Journal of Food, Agriculture & Environment (JFAE), online ISSN: 1459-0263, Vol 1. Issue 3&4, pp. 270-276.

5- Boote K.J., Jones J.W., Hoogenboom G., and Pickering N.B. 1998. The CROPGRO for grain legumes. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), Understanding Option for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 99-128.

6- DSSAT Training Workshop. 2008. Cultivar Coefficients in the Cereal Models, ppt. 2008 Training Program on DSSAT the University of Georgia, ICASA.

7- Fraisse C.W., Sudduth K.A., and Kitchen N.R. 2001. Calibration of the CERES-Maize Model for Simulating Site-Specific Crop Development and Yield on Claypan Soils. Applied Engineering in agriculture, Vol. 17(4): 547-556, ASAE, ISSN 0883-8542.

8- Gheysari M., Mirlatifi S.M., Bannayan M., Homaee M., and Hoogenboom G. 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. Agricultural Water Management, 96: 809-821.

9- Gheysari M., Mirlatifi S.M., Homaee M., Asadi M.E., and Hoogenboom G. 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. Agricultural Water Management, 96: 946-954.

10- Hoogenboom G., Jones J.W., Wilkens P.W., Batchelor W.D., Bowen W.T., Hunt L.A., Pickering N.B., Singh U., Godwin D.C., Baer B., Boote K.J., Ritchie J.T., and White J.W. 1994. Crop models. In: Tsuji, G.Y., Uehara, G., Balas, S. (Eds.), DSSAT Version 3.2. University of Hawaii Honolulu, Hawaii, pp. 95-244.

11- Hoogenboom G., Wilkens P.W., and Tsuji G.Y., eds. 1999. DSSAT Version 3. Vol. 4. Honolulu, Hawaii: University of Hawaii.

12- Jones C.A. and Kiniry J.R. 1986. CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A&M Univ. Press, College station.

13- Nouna B.B., Katerji N., and Mastrorilli M. 2000. Using the CERES-Maize model in a semi-arid Mediterranean environment. Evaluation of model performance. European Journal of Agronomy, 13: 309-322.

14- Ritchie J.T., Singh U., Godwin D.C., and Bowen W.T. 1998. Cereal growth, development, and yield. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), Understanding Option for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Boston, pp. 79-98.

15- Soler C.M.T., Sentelhas P.C., and Hoogenboom G. 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. European Journal Agronomy (27): 165-177.

16- Tsuji G.Y., Hoogenboom G., and Thornton P.K. 1998. Understanding Option for Agricultural Production. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands.

17- Yang Z., Wilarkson G.G., Buol G.S., Bowman D.T., and Heiniger R.W. 2009. Estimating Genetic Coefficients for the CSM-CERES-Maize model in North Carolina environments. Agronomy Journal, 101: 1276-1285.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 2, May-Jun 2012, p. 290-299

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۲، خرداد – تیر ۱۳۹۱، ص. ۲۹۹-۲۹۰

Calibration and Evaluation of the CSM-CERES-MAIZE Model for Maize Hybrid 704 Single-Cross in Varamin

M. Rabie[1]- S.M. Mirlatifi[2]*- M. Gheysari[3]
Received:7-3-2011
Accepted:15-11-2012

Abstract

The CSM-CERES-Maize model was calibrated and evaluated by using the field and weather data set of a two-year field experiment previously carried out on silage corn at the Agricultural Research Center in Varamin. The data set included soil, crop, and weather data of a two-year corn experiment with four irrigation levels and three N fertilization levels. Twelve treatments were arranged in a strip-plot design in a randomized complete block with three replications during the 2003 and 2004 growing season. Data collected in the field included weight of biomass, leaf area index, and important physiological dates such as silking, anthesis, grain filling, and harvest maturity during the growing period. The maximum leaf area index and weight of biomass at physiological harvest, along with anthesis and maturity dates were used in the calibration process. The biomass weight during the growing season was used for the model evaluation. The results indicated that GENCALC tool is capable enough to be applied for determining genetic coefficients of maize with acceptable accuracy. The result of calibration of the model produced the following statistics, root mean square errors (RMSE) for anthesis and maturity dates were 1 and 2 days, 980 and 1313 kg ha^{-1} for weight of biomass and 0.75 and 0.44 for maximum LAI in the years of 2003 and 2004, respectively. Genetic coefficient required by the CSM-CERES-Maize model including P1, P2, P5, G2, G3, and PHINT were found to be 236 (°C), 0.4 (days/hr), 790 (°C), 833, 8.5 (mg/day), and 55 (°C), respectively. The evaluation of the CSM-CERES-Maize showed that the model was able to simulate weight of biomass for the silage maize accurately with root mean square errors (RMSE) ranging from 9 to 1483 kg ha^{-1} and coefficient of determinations (r^2) ranging from 0.86 to 0.99 for all of the 12 treatments for two years. It is concluded that the GENCALC tool was capable of successfully determining the cultivar parameters required by the CSM-CERES-Maize model and that the model itself was well calibrated for the data set used in this study.

Keywords: Crop model, DSSAT, Calibration, Maize hybrid 704 single-cross

1,2- MSc Student and Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage Engineering, Tarbiat Modares University
(*-Corresponding Author Email: mirlat_m@modares.ac.ir)
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology