



ISSN 2251-7480

ارزیابی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری

زهرا سعادت^۱، معصومه دلبری^۲، ابراهیم امیری^{۳*}، مهدی پناهی^۴، محمدحسین رحیمیان^۵ و مسعود قدسی^۵

۱) دانشجوی دکتری؛ گروه آبیاری و زهکشی؛ دانشکده آب و خاک؛ دانشگاه زابل؛ ایران

۲) دانشیار؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده آب و خاک؛ دانشگاه زابل؛ ایران

۳) دانشیار؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان؛ ایران

* نویسنده مسئول مکاتبات: eamiri57@yahoo.com

۴) استادیار؛ موسسه تحقیقات خاک و آب کرج؛ ایران

۵) عضو هیات علمی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی؛ ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۹/۲۱

چکیده

مدل‌های شبیه‌ساز که اثرات مقادیر مختلف آب بر روی عملکرد محصول را به صورت کمی شبیه‌سازی می‌کنند، ابزارهایی مفید در مدیریت آب در سطح مزرعه و بهینه‌سازی کارایی مصرف آب می‌باشند. در این تحقیق از مدل CERES-Wheat جهت شبیه‌سازی پاسخ عملکرد گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری رقم با ۳ تیمار آبیاری در کرت‌های اصلی و ۵ رقم گندم در کرت‌های فرعی شامل C-73-5، C-78-4، C-78-8، C-79-6 و C-79-16 در مشهد در طی دو سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ استفاده شد. با توجه به نتایج، بر اساس شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطای نسبی، مدل CERES-Wheat عملکرد دانه در سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ را با ۷ درصد و در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ با ۱۰ درصد نسبت به عملکرد دانه مشاهده شده، شبیه‌سازی کرد. چون مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد بوده، بنابراین شبیه‌سازی به خوبی انجام گرفته است. همچنین، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای محاسبه شده برای عملکرد دانه در هر دو سال زراعی کمتر از ۱۰ درصد مقدار میانگین مشاهده شده بدست آمد. این نتایج مبین مطابقت خوب نتایج شبیه‌سازی مدل می‌باشد. همچنین، مقادیر بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب بر اساس میزان آب آبیاری برای هر دو سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ در تیمار I3-C-79-6 بیشترین مقدار را دارا هستند، لذا مدیریت آبیاری مذکور و رقم گندم C-79-6 می‌تواند در منطقه مورد مطالعه توصیه شود. به طور کلی یافته‌های تحقیق، کارایی مطلوب مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی فرآیند رشد و تأثیر آب بر عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه را تأیید می‌نماید.

کلید واژه‌ها: بهره‌وری آب؛ عملکرد گندم؛ مدل شبیه‌سازی؛ مدیریت آبیاری

مقدمه

گندم آبی کشور داشته است. با توجه به نقش مهم گندم در تغذیه مردم و نیز اهمیت آن در سیستم‌های زراعی کشور، به نظر می‌رسد استفاده از زمینه‌های تحقیقاتی جدید می‌تواند نقش زیادی را در افزایش تولید داشته باشد. مدل‌های شبیه‌ساز که اثرات مقادیر مختلف آب بر روی عملکرد محصول را به صورت کمی شبیه‌سازی می‌کنند،

گندم مهمترین محصول زراعی کشور است و نقش بارزی در تغذیه مردم دارد. استان خراسان با دارا بودن ۳۵۳۰۰۰ هکتار سطح زیر کشت، بیشترین سطح زیر کشت گندم آبی (۱۷/۷-۱۴/۶٪) را در ایران دارا بوده و سهم قابل توجهی (۱۵/۴۴-۱۲/۳۴٪) از کل تولید کشور را در تولید

رشد گیاه پیش‌بینی می‌نماید. اندرزیان و همکاران (۱۳۸۷) مدل شبیه‌ساز CERES-Wheat را در شرایط اقلیمی اهواز بر روی گیاه گندم ارزیابی کردند. نتایج این تحقیق مبین توانایی خوب مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی مراحل فنولوژی و عملکرد گندم تحت این شرایط بود. ماهرو کاشانی و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی مدل DSSAT برای شبیه‌سازی نمو، رشد و عملکرد گندم در شرایط آب و هوایی استان گلستان پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل DSSAT می‌تواند یک ابزار امیدبخش برای پیش‌بینی عملکرد، سطح برگ، تجمع نیتروژن و بیوماس ارقام مورد استفاده در استان گلستان باشد. آبابایی و همکاران (۱۳۹۱) مدل CERES-Barley را با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس تحت شرایط کم آبیاری ارزیابی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که مدل CERES-Barley از بسته نرم‌افزاری DSSAT توانایی قابل توجهی در شبیه‌سازی عملکرد کل و عملکرد دانه به‌ویژه در شرایط آبیاری کامل و تنش ملایم دارد.

Dettori و همکاران (۲۰۱۱) از مدل CERES-Wheat Sardinia جهت شبیه‌سازی تولید و فنولوژی گندم در جنوبی واقع در ایتالیا استفاده نمودند. مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه و تاریخ گلدهی نتایج خوبی را نشان داد که با نتایج مطالعات دیگر که بر روی گندم انجام شده بود، مطابقت داشت. اما نتایج پیش‌بینی وزن هزار دانه و تعداد دانه مطابقت خیلی خوبی را نشان نداد. Jianqiang و همکاران (۲۰۱۳) از مدل CERES-Wheat برای شبیه‌سازی رشد گندم بهاره در زمین‌های تحت کشت آبی در منطقه‌ای واقع در شمال غربی چین استفاده نمودند. Amiri و همکاران (۲۰۱۳) مدل CERES-Rice را تحت شرایط مختلف مدیریت آب و نیتروژن در شمال ایران ارزیابی نمودند. براساس نتایج این مطالعه عملکرد دانه، ماده خشک و جذب نیتروژن شبیه‌سازی شده با مشاهده شده مطابقت خوبی را نشان دادند.

ابزارهایی مفید در مدیریت آب در سطح مزرعه و بهینه‌سازی کارایی مصرف آب می‌باشند. بسته نرم‌افزاری DSSAT شامل ۲۸ مدل گیاهی به‌طور گسترده در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. مدل شبیه‌سازی CERES برای غلات (Jones and Kiniry, 1986; Ritchie *et al.*, 1998) و مدل‌های CROPGRO (Asadi and Clemente, 2003) در بسته نرم‌افزاری DSSAT توسعه داده شده است. مدل‌های مذکور در مناطق مختلف جهان و برای ارقام متنوع گیاهی استفاده و مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. مدل CERES یکی از مدل‌های خاک، گیاه و اتمسفر است که رشد، توسعه و عملکرد غلات را شبیه‌سازی می‌کند (Jones and Kiniry, 1986). این مدل که در بسته نرم‌افزاری DSSAT موجود است، قادر به پیش‌بینی بیلان نیتروژن خاک و گیاه و همچنین شبیه‌سازی سناریوهای مختلف مدیریت نیتروژن در مزرعه بوده و تاکنون توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرار گرفته است (Gerakis *et al.*, 2006). Vigil و همکاران (۱۹۹۱) از اولین نسخه CERES جهت تخمین میزان نیتروژن معدنی شده از بقایای گیاهی برای گیاهان سورگوم و گندم استفاده کردند و عملکرد مناسب مدل را مشاهده نمودند. Bowen و Papajorg (۱۹۹۲) نتایج رضایت‌بخشی را از مدل CERES-Wheat در رابطه با شبیه‌سازی عملکرد گندم زمستانه در منطقه آلبانی گزارش کردند. کیانی و همکاران (۱۳۸۳) به ارزیابی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی پارامترهای مختلف رشد و نمو و ارزیابی توانایی مدل در پیش‌بینی زمان وقوع مراحل مهم فنولوژیک پرداختند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی مراحل گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی نشان‌دهنده‌ی دقت مدل در پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی است. همچنین نتایج تحقیقات Bannayan و همکاران (۲۰۰۳) برای پیش‌بینی عملکرد نهایی گندم در طی فصل رشد گیاه در چهار منطقه انگلستان به کمک مدل CERES-Wheat نشان داد که مدل در حد قابل قبولی عملکرد نهایی را در مراحل مختلف

شرقی و ارتفاع ۹۹۹/۲ متر از سطح دریا، در طی ۲ سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ بدست آمد.

اطلاعات خاک محل آزمایش

برخی خصوصیات خاک محل آزمایش به‌عنوان بخشی از اطلاعات ورودی مدل CERES-Wheat در جدول ۱ ارائه شده است. قبل از کشت از عمق ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متر نمونه خاک تهیه و میزان pH، EC، کربنات کلسیم، مقدار فسفر و پتاسیم قابل جذب، درصد ازت و کربن آلی و بافت خاک تعیین شد.

با توجه به نقش مهم گندم در تغذیه مردم و نیز اهمیت آن در سیستم‌های زراعی کشور، هدف از این مطالعه ارزیابی توانایی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی فرآیند رشد گیاه و تولید عملکرد ارقام مختلف گندم در منطقه مشهد تحت تیمارهای مختلف آبیاری رقم بود.

مواد و روش‌ها

موقعیت محل آزمایش

بخشی از اطلاعات مورد نیاز این پژوهش از یک آزمایش مزرعه‌ای انجام شده در منطقه طرق مشهد با عرض جغرافیایی ۱۶° ۳۶ شمالی و طول جغرافیایی ۵۹° ۳۸

جدول ۱. مشخصات خاک ایستگاه تحقیقات کشاورزی طرق مشهد

| عمق (cm) | هدایت الکتریکی (dS m ⁻¹) | pH | کربن آلی (%) | ازت کل (%) | فسفر قابل جذب (mg kg ⁻¹) | پتاسیم قابل جذب (mg kg ⁻¹) | شن (%) | سیلت (%) | رس (%) | نوع بافت | FC (%) | PWP (%) |
|----------|--------------------------------------|-----|--------------|------------|--------------------------------------|--|--------|----------|--------|-----------|--------|---------|
| ۰-۳۰ | ۱/۱ | ۸/۱ | ۰/۵۷ | ۰/۰۶۶ | ۱۴/۴ | ۲۳۴ | ۳۳/۶ | ۴۶ | ۲۰/۴ | لوم سیلتی | ۱۷/۳ | ۷/۲ |
| ۳۰-۶۰ | ۱/۱۷ | ۸/۲ | ۰/۵۵ | ۰/۰۶۷ | ۱۴ | ۱۹۵ | ۲۸/۶ | ۴۷ | ۲۴/۴ | لوم سیلتی | ۱۷/۶ | ۸ |

عملیات زراعی

طرح به‌صورت کرت‌های خرد شده (اسپیلت پلات) بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی در طی دو سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ با سه تیمار آبیاری در کرت‌های اصلی و پنج رقم گندم در کرت‌های فرعی به شرح زیر در ایستگاه طرق مشهد اجرا شد.

تیمارهای آبیاری:

- 1: آبیاری در چهار مرحله طولی شدن ساقه، گلدهی، شیری شدن و خمیری شدن دانه
 - 2: آبیاری در سه مرحله طولی شدن ساقه، گلدهی و شیری شدن دانه
 - 3: آبیاری در دو مرحله طولی شدن ساقه و گلدهی
- ارقام گندم: C₁: C-73-5، C₂: C-78-4، C₃: C-78-8، C₄: C-79-6، C₅: C-79-16

ابعاد کرت‌های اصلی ۹۶ متر مربع (با احتساب یک متر فاصله بین کرت‌های فرعی به‌منظور جلوگیری از اثر نفوذ آب در کرت‌های مجاور) و کرت‌های فرعی ۱۴/۴ متر مربع بود. میزان بذر بر اساس وزن هزار دانه و به تعداد ۴۵۰ بذر در متر مربع بود. میزان کودهای شیمیایی مصرفی (ماکرو و میکرو) قبل از کشت بر اساس آزمون خاک و توصیه بخش تحقیقات تغذیه گیاهی با فرمول (۵۰-۷۵-۱۲۰) کیلوگرم N-P-K خالص در هکتار تعیین و یک سوم کود ازته و تمام کودهای شیمیایی دیگر هنگام کشت و بقیه کود ازته به‌صورت سرک در بهار مصرف شد.

شرایط کلی آب و هوایی سال‌های اجرای آزمایش نشان داد که این سال‌ها از نظر وضعیت جوی نسبتاً معمولی بود. میانگین حداقل و حداکثر دمای فصل پاییز در مشهد در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ کمتر از سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ بود که نشان دهنده وجود پاییز سردتر در سال دوم

تخفیف یابد و بخشی از نیاز رطوبتی گیاه در طی مرحله پر شدن دانه‌ها مرتفع شود. عدم اختلافات زیاد عملکرد می‌تواند ناشی از همین مسئله باشد. جهت اندازه‌گیری مقدار آب مصرفی از دو عدد پارشال فلوم تیپ ۴ در ورودی و خروجی طرح استفاده شد. در جدول ۲ مقادیر حجم آب مصرفی تیمارها در طی دو سال اجرای آزمایش آورده شده است.

اجرای آزمایش بود. میزان کل بارندگی در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ برابر (۲۶۵/۴ میلی‌متر) و تقریباً معادل با بارندگی سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ (۲۷۴/۷ میلی‌متر) می‌باشد. نسبت بارش‌های بهار به کل بارش در طی این دو سال زراعی به ترتیب ۳۹/۷٪ و ۳۴/۱٪ و نشان دهنده توزیع مناسب بارندگی در طی فصل بهار بود، این شرایط بارندگی بهار موجب شد اثر تیمارهای قطع آبیاری (تنش رطوبتی)

جدول ۲. مجموع آب مصرفی (میلی‌متر) تیمارهای مختلف آبیاری در طی دو سال اجرای طرح

| میانگین دو سال | ۱۳۸۲-۸۳ | ۱۳۸۱-۸۲ | تیمار آبیاری |
|----------------|---------|---------|--------------|
| ۵۷۷ | ۶۱۴ | ۵۴۰ | I1 |
| ۳۹۰ | ۳۸۵ | ۳۹۴ | I2 |
| ۱۹۹ | ۲۰۸ | ۱۹۱ | I3 |

زمان حرارتی (t_d) به صورت معادله زیر است:

$$t_d = \sum_{i=1}^n (T_a - T_b) \quad (1)$$

T_a میانگین دمای روزانه و T_b دمای پایه و n تعداد روز (از کاشت تا هر مرحله فنولوژیکی) است.

تغییرات سطح برگ

در همه مدل‌های گروه CERES، پیر شدن برگ با تکامل برگ گیاه پیوستگی دارد. بعد از اینکه پیری تعیین شد، شاخص سطح برگ سبز را می‌توان از کل سطح برگ گیاه (PLA) حساب کرد و پیر شدن سطح برگ (SENLA) هم به این صورت در معادله زیر بیان می‌شود (Ritchie et al., 1998):

$$LAI = (PLA - SENLA) \times PLANTS / 10000 \quad (2)$$

که در آن LAI شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده، PLA سطح برگ در تک بوته، SENLA سطح برگ پیر شده و PLANTS تراکم گیاهی (گیاه در متر مربع) است.

تولید و توزیع ماده خشک

معادله استفاده شده برای تولید پتانسیل بیوماس روزانه

توصیف مدل DSSAT

مدل DSSAT یکی از معروف‌ترین و پر استفاده‌ترین مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی است (Soltani and Hoogenboom, 2007). مدل DSSAT از CERES- Wheat و CROPSIM مشتق شده است (Jones et al., 2004; Hoogenboom et al., 2003). این نرم‌افزار در بیش از ۹۰ کشور دنیا توزیع شده است و توسط بسیاری از محققان از اواخر دهه‌ی ۱۹۸۰ مورد استفاده قرار گرفته است (Jones et al., 2003).

ساختار مدل

مدل DSSAT نسخه 4.5.0.2 در این مطالعه استفاده شده است. این مدل می‌تواند رشد و نمو و عملکرد گندم را در شرایط دیم و آبی در یک محدوده از عرض جغرافیایی هم در نیمکره شمالی و جنوبی شبیه‌سازی نماید (Jones et al., 2003).

نمو فنولوژیک

مدل CERES برای پیش‌بینی مراحل نمو گیاه از زمان حرارتی استفاده می‌کند. آسان‌ترین و کاربردی‌ترین تعریف

به صورت زیر می‌باشد (Ritchie et al., 1998):

$$PCARB = RUE \times IPAR \quad (3)$$

$$IPAR = PAR[1 - \exp(-k \times LAI)] \quad (4)$$

که در آن PCARB تولید بیوماس بالقوه (گرم در متر مربع)، تشعشع فعال فتوسنتزی (PAR مگاژول بر متر مربع)، RUE راندمان مصرف نور (گرم بر مگاژول) که برای گندم معادل ۴-۲/۴ گرم بر مگاژول در نظر گرفته می‌شود و IPAR کسر تشعشع فعال فتوسنتزی دریافت شده روزانه، K ضریب خاموشی و LAI شاخص سطح برگ سبز جامعه گیاهی است (Ritchie et al., 1998).

عملکرد

عملکرد نهایی از حاصلضرب تعداد دانه در بوته، وزن تک دانه و تعداد دانه در واحد سطح محاسبه می‌شود (Ritchie et al., 1998; Mahroo-Kashani, 2010).

داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل

- **اطلاعات هواشناسی:** داده‌های روزانه هواشناسی شامل حداقل و حداکثر دمای هوا، بارش و تعداد ساعات آفتابی یا تابش خورشیدی که با استفاده از ابزار

WeatherMan وارد مدل می‌شوند.

- **اطلاعات خاکشناسی:** 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 که در فایل خاک ذخیره می‌شوند.

- **اطلاعات مدیریت زراعی (A-file, X-file و T-file):** 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 شبیه‌سازی در فایل X به مدل معرفی می‌شوند. داده‌های اندازه‌گیری شده از مزرعه در ابزاری به نام ATCreate وارد شده و به صورت دو فایل مجزا (A-file و T-file) ایجاد می‌شوند.

- **رقم زراعی:** شامل پارامترهای ژنتیکی مثل تأثیر بهاره‌سازی (PIV) و فتوپریود (PID) بر نمو، طول دوره پر شدن دانه (P5)، فیلوکرون (PHINT) و پارامترهای مربوط به رشد دانه G1، G2 و G3 می‌باشند (جدول ۳).

جدول ۳. علایم اختصاری و تعاریف هر یک از ضرایب ژنتیکی مربوط به گندم در مدل DSSAT

| ضرایب | توضیح ضرایب ژنتیکی مدل DSSAT |
|-------|---|
| PIV | تأخیر نسبی در سرعت نمو برای هر روز بهاره‌سازی انجام نشده |
| PID | مقدار نسبی کاهش سرعت نمو برای فتوپریود کوتاه‌تر از حالت مطلوب (۲۰ ساعت) |
| P5 | طول دوره خطی پر شدن دانه بر حسب درجه روز |
| G1 | تعداد دانه در هر واحد وزن جامعه گیاهی در واحد سطح در گرده‌افشانی بر حسب تعداد در گرم |
| G2 | سرعت بالقوه رشد دانه بر حسب میلی‌گرم در روز |
| G3 | وزن خشک ساقه در شرایط مطلوب رشد، هنگامی که رشد ساقه متوقف می‌شود، شامل پهنک و غلاف برگ به علاوه خوشه بر حسب گرم |
| PHINT | زمان حرارتی لازم بین ظهور نوک دو برگ متوالی بر حسب درجه روز |

معیارهای ارزیابی مدل CERES-Wheat

مدل CERES-Wheat با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده برای سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و اسنچی شد و ارزیابی (اعتبارسنجی) مدل بر پایه داده‌های سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ انجام گرفت. در ارزیابی گرافیکی مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده‌ی پارامترها از ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید، هم‌چنین جهت ارزیابی نتایج شبیه‌سازی از آزمون F استفاده شد. بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و با استفاده از معیارهای خطای نسبی (E_r)، ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (RMSEn) ارزیابی مدل انجام گرفت (Pirmoradian and Sepaskhah, 2006). مقادیر E_r ، RMSE و RMSEn هر چه به صفر نزدیکتر باشند، نشان دهنده‌ی این مطلب است که مدل شبیه‌سازی را بهتر انجام داده است. مقدار RMSEn بر حسب درصد بیان می‌شود. اگر مقدار RMSEn کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی بسیار خوب، اگر بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد باشد، شبیه‌سازی خوب، اگر بیشتر از ۲۰ درصد و کمتر از ۳۰ درصد باشد، شبیه‌سازی نسبتاً خوب و با RMSEn بالای ۳۰ درصد شبیه‌سازی ضعیف ارزیابی می‌شود (Soler et al., 2007).

$$E_r = \frac{0-s}{0} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad (6)$$

$$RMSEn = [1/n \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2]^{0.5} \left(\frac{100}{MO}\right) \quad (7)$$

در روابط بالا، S_i و O_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، MO میانگین مقادیر مشاهده شده و n تعداد مشاهدات است.

بر اساس نتایج حاصل از مدل CERES-Wheat مقادیر بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب بر اساس میزان آب آبیاری در تیمارهای مختلف با استفاده از معادلات زیر محاسبه شد:

$$WP_{ET} = \frac{Y}{E+T} = \frac{Y}{ET} \quad (8)$$

$$WP_{Irr} = \frac{Y}{I} \quad (9)$$

در روابط بالا WP_{ET} بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق (کیلوگرم بر مترمکعب)، WP_{Irr} بهره‌وری آب بر اساس میزان آب آبیاری (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم بر هکتار)، ET مقدار تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده توسط مدل (میلی‌متر) و I مقدار آبیاری (میلی‌متر) هستند.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل CERES-Wheat

مدل CERES-Wheat با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده برای سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و اسنچی شد و ارزیابی (اعتبارسنجی) مدل بر پایه داده‌های سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ انجام گرفت. در این تحقیق ضرایب ژنتیکی گندم با سعی و خطا و هم‌چنین با توجه به حدودی که برای این ضرایب در مناطق مختلف جهان بدست آوردند تعیین شد به نحوی که بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مدل حداقل اختلاف وجود داشته باشد.

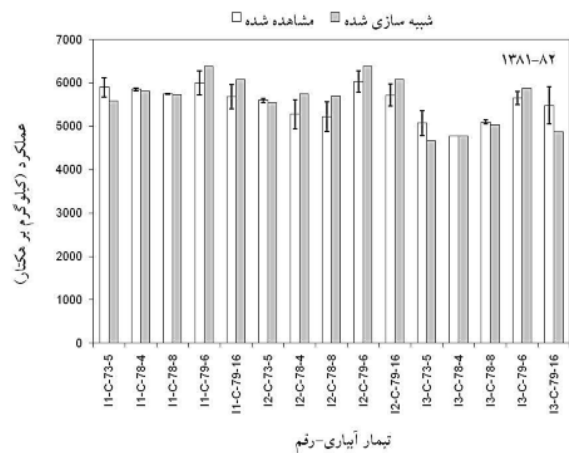
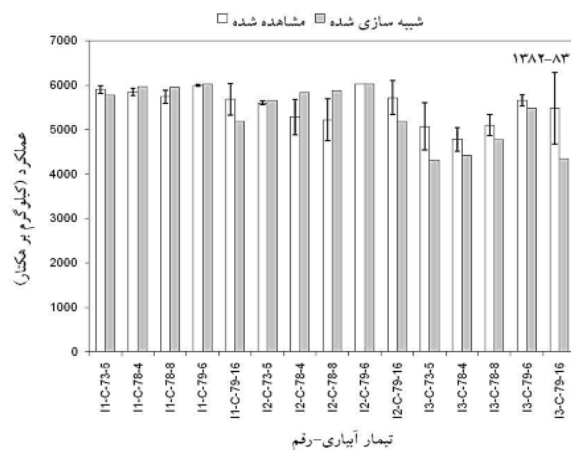
جدول ۴. ضرایب ژنتیکی واسنجی شده مدل CERES-Wheat

| ضرایب ژنتیکی واسنجی شده | | | | | | | رقم |
|-------------------------|-----|----|----|-----|-----|-----|---------|
| PHINT | G3 | G2 | G1 | P5 | P1D | P1V | |
| ۹۰ | ۱/۵ | ۴۱ | ۳۰ | ۳۱۰ | ۹۵ | ۶۰ | C-73-5 |
| ۹۰ | ۱/۵ | ۳۸ | ۳۰ | ۳۲۰ | ۹۵ | ۶۰ | C-78-4 |
| ۹۰ | ۱/۵ | ۴۶ | ۳۰ | ۳۲۰ | ۹۰ | ۶۰ | C-78-8 |
| ۹۰ | ۱/۵ | ۴۱ | ۳۰ | ۳۳۰ | ۸۰ | ۶۰ | C-79-6 |
| ۹۰ | ۱/۵ | ۳۸ | ۲۵ | ۳۴۰ | ۹۵ | ۶۰ | C-79-16 |

نتایج ارزیابی مدل CERES-Wheat

مقایسه‌ی مقدار عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در تیمارهای مختلف آبیاری رقم در شکل ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در هر دو سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ و ۱۳۸۲-۸۳ تیمار I3-C-73-5 دارای کمترین مقدار عملکرد شبیه‌سازی شده است. هم‌چنین، با توجه به شکل ۱ در سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ و ۱۳۸۲-۸۳ به ترتیب تیمار I2-C-79-6 و I3-C-78-4 دارای کمترین میزان انحراف معیار هستند. در جدول ۵ مقایسه‌ی درصد کاهش واقعی عملکرد نسبت به درصد کاهش عملکردهای شبیه‌سازی شده توسط مدل در تیمارهای مختلف آبیاری ارائه شده است. با توجه به نتایج، کاهش آبیاری در مرحله مشخصی از دوره رشد منجر به کاهش عملکرد دانه برای هر رقم

شده است. با توجه به جدول ۵ درصد کاهش واقعی عملکرد و کاهش عملکردهای شبیه‌سازی شده توسط مدل در تیمار I2 نسبت به I1 در سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ به ترتیب ۵ و ۰/۵ درصد و در سال زراعی ۱۳۸۲-۸۳ به ترتیب ۵ و ۱ درصد، در تیمار I3 نسبت به I1 در سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ به ترتیب ۱۱ و ۱۵ درصد و در سال زراعی ۱۳۸۲-۸۳ به ترتیب ۱۱ و ۱۹ درصد و در تیمار I3 نسبت به I2 در سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ به ترتیب ۶ و ۱۴ درصد و در سال زراعی ۱۳۸۲-۸۳ به ترتیب ۶ و ۱۸ درصد بدست آمد. مشاهده می‌شود که درصد کاهش عملکردهای شبیه‌سازی شده توسط مدل در سال زراعی ۱۳۸۲-۸۳ بیشتر از سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ بوده است.



شکل ۱. مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد در تیمارهای مختلف آبیاری رقم (انحراف معیار)

جدول ۵. مقایسه درصد کاهش واقعی عملکرد نسبت به درصد کاهش عملکردهای شبیه‌سازی شده توسط مدل در تیمارهای مختلف آبیاری

| ۱۳۸۲-۸۳ | | ۱۳۸۱-۸۲ | |
|---|-----------------------|---|-----------------------|
| کاهش عملکردهای شبیه‌سازی شده توسط مدل (%) | کاهش واقعی عملکرد (%) | کاهش عملکردهای شبیه‌سازی شده توسط مدل (%) | کاهش واقعی عملکرد (%) |
| ۱ | ۵ | ۰/۵ | ۵ |
| ۱۹ | ۱۱ | ۱۵ | ۱۱ |
| ۱۸ | ۶ | ۱۴ | ۶ |

۱۳۸۱-۸۲ با ریشه میانگین مربعات خطای برابر با ۳۷۶ کیلوگرم بر هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برابر با ۷ درصد نسبت به سال زراعی ۱۳۸۲-۸۳ با ریشه

نتایج عوامل آماری مربوط به عملکرد که برای ارزیابی مدل CERES-Wheat استفاده شده‌اند، در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به این جدول عملکرد سال زراعی

میانگین مربعات خطای برابر با ۵۴۱ کیلوگرم بر هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برابر با ۱۰ درصد تطابق بهتری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده‌ی آن وجود دارد.

با توجه به نتایج، به‌طور متوسط مقدار خطای نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌ی عملکرد در سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ به ترتیب ۱ و ۳- درصد بدست آمد. بر اساس شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطای نسبی، مدل CERES-Wheat عملکرد دانه در سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ را با ۷ درصد و در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ با ۱۰ درصد نسبت به عملکرد دانه مشاهده شده، شبیه‌سازی کرد (جدول ۶). چون مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد بوده شبیه‌سازی به‌خوبی انجام گرفته است. همچنین، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای محاسبه شده برای عملکرد دانه در سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ معادل ۳۷۶ کیلوگرم هکتار و در سال زراعی ۸۳-۱۳۸۲ معادل ۵۴۱ کیلوگرم هکتار است که در هر دو سال زراعی کمتر از ۱۰ درصد مقدار میانگین مشاهده شده (۵۵۴ کیلوگرم هکتار) می‌باشد. این نتایج مبین توانایی خوب مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی عملکرد گندم در منطقه

مورد مطالعه می‌باشد.

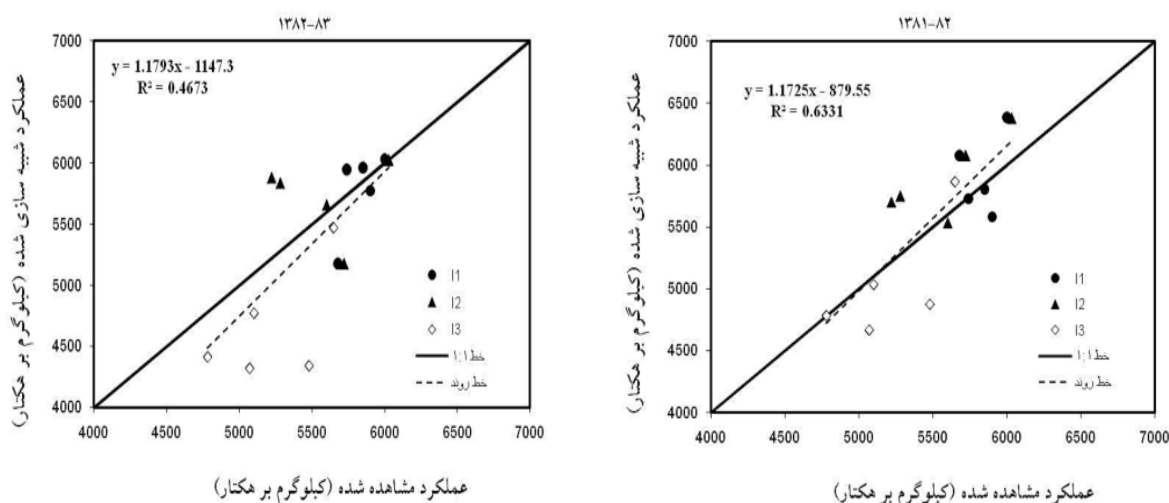
مقایسه نتایج تحقیقات سایر محققان با مقادیر بدست آمده در این تحقیق نیز موید این مطلب است که مدل CERES-Wheat توانسته است عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه را به‌خوبی شبیه‌سازی نماید. در تحقیقی در زمینه شبیه‌سازی رشد و نمو جو و گندم با استفاده از سه مدل CERES، SWAP و WOFOST، مقدار خطا بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد در مدل CERES برای گیاه جو برای سه نوع خاک بین ۴/۵- تا ۶۹/۲ درصد و برای گیاه گندم بین ۲/۶- تا ۱۶/۷ درصد بدست آمد (Eitzinger et al., 2004). در تحقیقی دیگر در رابطه با شبیه‌سازی رشد گندم بهاره با استفاده از مدل CERES-Wheat، مقدار خطا بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد بین ۸/۱۷- تا ۴/۷۵ درصد بدست آمد (Jianqiang et al., 2013). در تحقیقی درباره ارزیابی مدل‌های CERES-Wheat و CropSyst در شبیه‌سازی اثر توامان آب و نیتروژن بر روی گیاه گندم، مقدار ریشه میانگین مربعات خطا برای شبیه‌سازی عملکرد در مدل CropSyst برابر ۰/۳۶ مگاگرم بر هکتار و در مدل CERES-Wheat برابر ۰/۶۳ مگاگرم بر هکتار بدست آمد (Singh et al., 2008).

جدول ۶. مقادیر (RMSE)، (RMSEn) و متوسط (E_r) برای نتایج شبیه‌سازی عملکرد

| ۱۳۸۲-۸۳ | | | ۱۳۸۱-۸۲ | | |
|--------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------|--------------------------------|
| E_r (%) | RMSEn (%) | RMSE (kg ha ⁻¹) | E_r (%) | RMSEn (%) | RMSE (kg ha ⁻¹) |
| -۳ | ۱۰ | ۵۴۱ | ۱ | ۷ | ۳۷۶ |

را کمتر از مقدار مشاهده شده، شبیه‌سازی کرده است. همچنین در تیمار I2 نقاط در بالای خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند (به‌جز دو نقطه) و این بدین معنی است که در این تیمار مدل مقدار عملکرد را بیش از مقدار مشاهده شده، شبیه‌سازی کرده است. با توجه به این شکل ضریب تبیین مربوط به عملکرد در سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ به ترتیب برابر با ۰/۶۳۳۱ و ۰/۴۶۷۳ بدست آمد

مقایسه مقادیر عملکرد مشاهده شده و مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی آن توسط مدل CERES-Wheat در تیمارهای مختلف برای سال‌های زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ با خط یک به یک در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۲ دیده می‌شود، در تیمار I3 نقاط در پایین خط ۱:۱ قرار گرفته‌اند (به‌جز در یک نقطه) و این بدین معنی است که در این تیمار مدل مقدار عملکرد



شکل ۲. مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده عملکرد گندم

خط روند وجود ندارد و در نتیجه اختلاف بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد توسط مدل CERES-Wheat از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۷).

تجزیه و تحلیل‌های آماری از طریق آزمون F برای مقایسه‌ی خط ۱:۱ و خط روند نشان داد که در سطح احتمال یک درصد (۹۹ درصد اطمینان) اختلاف معنی‌داری از لحاظ شیب و عرض از مبدا بین خط ۱:۱ و

جدول ۷. نتایج آزمون F برای مقایسه‌ی خط روند داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل CERES-Wheat با خط ۱:۱

| R ² | B | A | M.S. | S.S. | Reg.Coef. | $\sum y^2$ | $\sum XY$ | $\sum x^2$ | d.f. | Within | Line |
|----------------|-------|--------|---------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------|---|------|
| ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۴/۹ | ۴/۹ | ۴/۹ | ۳۱ | Line (1) | ۱ |
| ۰/۹۳۸ | ۱/۱۴۲ | -۰/۸۲۶ | ۰/۰۱۴ | ۰/۴ | ۱/۱۴۲ | ۶/۸ | ۵/۶ | ۴/۹ | ۳۱ | Line (2) | ۲ |
| | | | ۰/۰۰۷۰۱ | ۰/۴ | | | | | | | ۳ |
| ۰/۹۵۷ | ۱/۰۷۱ | -۰/۴۱۳ | ۰/۰۰۷۷ | ۰/۴۶۹۸ | ۱/۰۷۱ | ۱۱/۶ | ۱۰/۴ | ۹/۷ | ۶۲ | pooled, w | ۴ |
| | | | ۰/۰۴۹۱ | ۰ | | | | | | difference between slops | ۵ |
| | | | | | | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | between, B | ۶ |
| | | | | ۰/۴۹۵۷۷ | | ۱۱/۷ | ۱۰/۴ | ۹/۷ | ۶۳ | W+B | ۷ |
| | | | ۰/۰۲۵۹۷ | ۰/۰۲۵۹۷ | | | | | | Between adjusted means | ۸ |
| | | | N.S | (df=۱, ۶۰) | | | | | | comparison of slops: F = M.S.(۵) / M.S.(۳) = ۷/۰۰ | |
| | | | N.S | (df=۱, ۶۱) | | | | | | comparison of intercept: F = M.S.(۸) / M.S.(۴) = ۳/۳۷ | |

N.S: اختلاف غیرمعنی‌دار

مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب بر اساس میزان آب آبیاری برای هر دو سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ و ۱۳۸۲-۸۳ در تیمار I3-C-79-6 بیشترین مقدار را دارا هستند، بنابراین مدیریت آبیاری

بر اساس نتایج حاصل از مدل CERES-Wheat میزان بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق (WP_{ET}) و بهره‌وری آب بر اساس میزان آب آبیاری (WP_{IT}) در تیمارهای مختلف محاسبه و در جدول ۸ ارائه شد. هر دو

اساس میزان تبخیر و تعرق برای سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ به ترتیب برابر ۱/۵۱ و ۱/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. هم‌چنین به‌طور متوسط مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان آب آبیاری برای سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ به ترتیب برابر ۱/۷۵ و ۱/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد.

مذکور (I3) و رقم گندم C-79-6 می‌تواند در منطقه مورد مطالعه توصیه شود. هم‌چنین، در سال زراعی ۸۲-۱۳۸۱ و ۸۳-۱۳۸۲ به ترتیب تیمار II-C-73-5 و II-C-79-16 دارای کمترین مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب بر اساس میزان آب آبیاری هستند. با توجه به جدول ۸ به‌طور متوسط مقدار بهره‌وری آب بر

جدول ۸. مقادیر بهره‌وری آب بر اساس نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط مدل CERES-Wheat در تیمارهای مختلف

| سال | رقم | آبیاری | عملکرد (کیلوگرم بر هکتار) | تبخیر و تعرق (میلی‌متر) | آبیاری (میلی‌متر) | WP _{ET} (کیلوگرم بر مترمکعب) | WP _{Irr} (کیلوگرم بر مترمکعب) |
|---------|---------|--------|------------------------------|----------------------------|----------------------|--|---|
| ۱۳۸۱-۸۲ | C-73-5 | II | ۵۶۰۱ | ۴۰۳ | ۵۴۰ | ۱/۳۹ | ۱/۰۴ |
| | C-78-4 | II | ۵۸۲۴ | ۴۰۶ | ۵۴۰ | ۱/۴۳ | ۱/۰۸ |
| | C-78-8 | II | ۵۷۵۴ | ۳۹۹ | ۵۴۰ | ۱/۴۴ | ۱/۰۷ |
| | C-79-6 | II | ۶۴۳۱ | ۳۹۲ | ۵۴۰ | ۱/۶۴ | ۱/۱۹ |
| | C-79-16 | II | ۶۰۸۹ | ۴۱۱ | ۵۴۰ | ۱/۴۸ | ۱/۱۳ |
| | C-73-5 | II | ۵۵۵۳ | ۳۸۶ | ۳۹۴ | ۱/۴۴ | ۱/۴۱ |
| | C-78-4 | II | ۵۷۷۱ | ۳۸۷ | ۳۹۴ | ۱/۴۹ | ۱/۴۶ |
| | C-78-8 | II | ۵۷۲۵ | ۳۸۶ | ۳۹۴ | ۱/۴۸ | ۱/۴۵ |
| | C-79-6 | II | ۶۴۲۶ | ۳۸۵ | ۳۹۴ | ۱/۶۷ | ۱/۶۳ |
| | C-79-16 | II | ۶۰۸۹ | ۳۸۸ | ۳۹۴ | ۱/۵۷ | ۱/۵۵ |
| | C-73-5 | III | ۴۶۹۱ | ۳۳۲ | ۱۹۱ | ۱/۴۱ | ۲/۴۶ |
| | C-78-4 | III | ۴۸۰۸ | ۳۳۳ | ۱۹۱ | ۱/۴۵ | ۲/۵۲ |
| | C-78-8 | III | ۵۰۶۴ | ۳۳۳ | ۱۹۱ | ۱/۵۲ | ۲/۶۵ |
| | C-79-6 | III | ۵۹۱۶ | ۳۳۳ | ۱۹۱ | ۱/۷۸ | ۳/۱ |
| C-79-16 | III | ۴۹۰۱ | ۳۳۳ | ۱۹۱ | ۱/۴۷ | ۲/۵۷ | |
| | متوسط | | ۵۶۴۳ | ۳۷۴ | | ۱/۵۱ | ۱/۷۵ |
| ۱۳۸۲-۸۳ | C-73-5 | II | ۵۵۳۸ | ۳۹۶ | ۶۱۴ | ۱/۴ | ۰/۹ |
| | C-78-4 | II | ۵۷۱۳ | ۴۰۲ | ۶۱۴ | ۱/۴۲ | ۰/۹۳ |
| | C-78-8 | II | ۵۸۷۴ | ۳۹۰ | ۶۱۴ | ۱/۵۱ | ۰/۹۶ |
| | C-79-6 | II | ۶۰۴۵ | ۳۷۸ | ۶۱۴ | ۱/۶ | ۰/۹۸ |
| | C-79-16 | II | ۵۲۳۳ | ۴۰۵ | ۶۱۴ | ۱/۲۹ | ۰/۸۵ |
| | C-73-5 | II | ۵۵۳۸ | ۳۹۶ | ۳۸۵ | ۱/۴ | ۱/۴۴ |
| | C-78-4 | II | ۵۷۱۳ | ۳۹۹ | ۳۸۵ | ۱/۴۳ | ۱/۴۸ |
| | C-78-8 | II | ۵۸۷۴ | ۳۹۰ | ۳۸۵ | ۱/۵۱ | ۱/۵۳ |
| | C-79-6 | II | ۶۰۴۵ | ۳۷۸ | ۳۸۵ | ۱/۶ | ۱/۵۷ |
| | C-79-16 | II | ۵۲۳۳ | ۴۰۱ | ۳۸۵ | ۱/۳ | ۱/۳۶ |
| | C-73-5 | III | ۵۳۴۴ | ۳۶۴ | ۲۰۸ | ۱/۴۷ | ۲/۵۷ |
| | C-78-4 | III | ۵۴۹۰ | ۳۶۴ | ۲۰۸ | ۱/۵۱ | ۲/۶۴ |
| | C-78-8 | III | ۵۷۶۲ | ۳۶۳ | ۲۰۸ | ۱/۵۹ | ۲/۷۷ |
| | C-79-6 | III | ۶۰۲۴ | ۳۶۱ | ۲۰۸ | ۱/۶۷ | ۲/۹ |
| C-79-16 | III | ۵۲۳۳ | ۳۶۴ | ۲۰۸ | ۱/۴۴ | ۲/۵۲ | |
| | متوسط | | ۵۶۴۴ | ۳۸۳ | | ۱/۴۷ | ۱/۶۹ |

نتیجه‌گیری کلی

مبین توانایی خوب مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. نتایج نشان داد که در هر دو سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ و ۱۳۸۲-۸۳ تیمار I3-C-73-5 دارای کمترین مقدار عملکرد شبیه‌سازی شده است. هم‌چنین با توجه به نتایج به‌طور متوسط مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق برای سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ و ۱۳۸۲-۸۳ به‌ترتیب برابر ۱/۵۱ و ۱/۴۷ کیلوگرم بر مترمکعب و مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان آب آبیاری برای سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ و ۱۳۸۲-۸۳ به‌ترتیب برابر ۱/۷۵ و ۱/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب بدست آمد. هر دو مقدار بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق و بهره‌وری آب بر اساس میزان آب آبیاری برای هر دو سال زراعی در تیمار I3-C-79-6 بیشترین مقدار را دارا هستند، بنابراین مدیریت آبیاری مذکور (I3) و رقم گندم C-79-6 می‌تواند در منطقه مورد مطالعه توصیه شود. به‌طور کلی یافته‌های تحقیق، کارایی مطلوب مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی فرآیند رشد و تأثیر آب بر عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه را تأیید می‌نماید.

مدل‌های شبیه‌ساز گیاهی می‌توانند به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری برای مدیریت سیستم مورد استفاده قرار گیرند. در این تحقیق مدل شبیه‌ساز CERES-Wheat به‌منظور بررسی اثر تیمارهای مختلف آبیاری رقم بر عملکرد گندم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج آزمون F نشان داد که مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده‌ی عملکرد در مدل CERES-Wheat از نظر آماری اختلاف معنی‌داری ندارند. بر اساس شاخص آماری ریشه میانگین مربعات خطای نسبی، مدل CERES-Wheat عملکرد دانه در سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ را با ۷ درصد و در سال زراعی ۱۳۸۲-۸۳ با ۱۰ درصد نسبت به عملکرد دانه مشاهده شده، شبیه‌سازی کرد. چون مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد بوده، بنابراین شبیه‌سازی به‌خوبی انجام گرفته است. هم‌چنین، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای محاسبه شده برای عملکرد دانه در سال زراعی ۱۳۸۱-۸۲ معادل ۳۷۶ کیلوگرم در هکتار و در سال زراعی ۱۳۸۲-۸۳ معادل ۵۴۱ کیلوگرم در هکتار است که در هر دو سال زراعی کمتر از ۱۰ درصد مقدار میانگین مشاهده شده (۵۵۴ کیلوگرم در هکتار) می‌باشد. این نتایج

منابع مورد استفاده

- اندرزیان، ب.، بخشنده، ع.، بنایان، م. و امام، ی. ۱۳۸۷. ارزیابی مدل شبیه‌سازی CERES-Wheat در شرایط اقلیمی اهواز. مجله پژوهش‌های زراعی ایران، ۶ (۱): ۱۱-۲۲.
- آبابایی، ب.، سرائی تبریزی، م.، فرهادی بانسوله، ب.، سهرابی، ت. و میرزایی، ف. ۱۳۹۱. واسنجی مدل CERES-Barley با استفاده از روش مدل‌سازی معکوس تحت شرایط کم‌آبیاری. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۲ (۲): ۳۷-۴۸.
- کیانی، ع.، کوچکی، ع.، نصیری محلاتی، م. و بنایان، م. ۱۳۸۳. ارزیابی مدل CERES-Wheat در دو نقطه متفاوت اقلیمی در استان خراسان II- شبیه‌سازی فنولوژی و پارامترهای رشد. مجله پژوهشی بیابان، ۹ (۱): ۱۲۵-۱۴۲.
- ماهرو کاشانی، ا. ح.، سلطانی، ا.، گالشی، س. و کلاته عربی، م. ۱۳۸۹. برآورد ضرایب ژنتیکی و ارزیابی مدل DSSAT برای ارقام استان گلستان. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۳ (۲): ۲۵۳-۲۲۹.
- Amiri, E., Rezaei, M., Bannayan, M. and Soufizadeh, S. 2013. Calibration and Evaluation of CERES Rice Model under Different Nitrogen- and Water-Management Options in Semi-Mediterranean Climate Condition. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 44:1814-1830.
- Asadi, M.E. and Clemente, R.S. 2003. Evaluation of DSSAT model to simulate nitrate leaching, yield and soil moisture content under tropical conditions. Journal of Food, Agriculture & Environment (JFAE), 1 (3&4): 270-276.

- Bannayan, M., Crout, N.M.J. and Hoogenboom, G. 2003. Application of the CERES-wheat model for within season prediction of winter yields in the United Kingdom. *Agronomy Journal*, 95 (1): 114-125.
- Bowen, W. and Papajorgji, P. 1992. Using DSSAT to predict wheat productivity in Albania. In: *Agrotechnology Transfer*, IBSNAT, Department of Agronomy and Soil Science, College of Tropical Agriculture and Human Resource, University of Hawaii, Honolulu, pp: 9-12.
- 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 Research*, 120: 179-188.
- Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z. and Dubrovsk, M. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modeling*, 171: 223-246.
- Gerakis, A., Rasse, D.P., Kavdir, Y., Smucker, A.J.M., Katsalirou, I. and Ritchie, J.T. 2006. Simulation of leaching losses in the nitrogen cycle. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 37: 1973-1997.
- Hoogenboom, G., Jones, J.W., Porter, C.H., Wilkens, P.W., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A. and Tsuji, G.Y. 2004. DSSAT 4., Overview, vol. 1. ICASA, Uni. Hawaii, Honolulu, USA.
- Jianqiang, He., Huanjie, Cai. and Jiangping, Bai. 2013. Irrigation scheduling based on CERES-Wheat model for spring wheat production in the Minqin Oasis in Northwest China. *Agricultural Water Management*, 128: 19-31.
- Jones, C.A. and Kiniry, J.R. 1986. CERES-Maize: A Simulation Model of Maize Growth and Development, Texas A&M Press: College Station, Texas. 194p.
- Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijssman, A.J. and Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, 18: 235-265.
- Mahroo-Kashani, A.H. 2010. Simulating wheat growth and development using DSSAT model under Gorgan conditions. Dissertation for M.Sc. degree in Agronomy. Department of Agronomy, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 105p. (In Persian)
- Pirmoradian, N. and Sepaskhah, A.R. 2006. A Very Simple Model for Yield Prediction of Rice under Different Water and Nitrogen Applications. *Biosystems Engineering*, 93(1): 25-34.
- 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 Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 79-98.
- 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 (7): 776-786.
- 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.
- Soltani, A. and Hoogenboom, G. 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crops Research*, 103 (3): 198-207.
- Vigil, M.F., Kissel, D.E. and Smith, S.J. 1991. Field crop recovery and modeling of nitrogen mineralized from labeled sorghum residues. *Soil Science Society of America Journal*, 55: 1031-1037.



ISSN 2251-7480

Assessment of CERES-Wheat model in simulation of varieties of wheat yield under different irrigation treatments

Zahra Saadati¹, Masomeh Delbari², Ebrahim Amiri^{3*}, Mahdi Panahi⁴, Mohammad Hosein Rahimian⁵ and Masoud Ghodsi⁵

1) Ph.D student, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran

2) Associate professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran

3*) Associate professor, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Lahijan branch, Iran, Corresponding author email:

eamiri57@yahoo.com

4) Assistant Professor, Soil and Water Research Institute, Karaj, Iran

5) Scientific member of Agricultural and Natural Resources Research Center of Khorasan, Iran

Received: 12-12-2015

Accepted: 16-03-2016

Abstract

The simulation models of yield response to water are expected to play an increasingly important role in the optimization of water productivity (WP) in agriculture. In this study, the CERES-Wheat model was used to simulate of wheat yield response under different irrigation-cultivar treatments with three irrigation treatments in main plots and Five wheat cultivars in sub plots consisted of C1: C-75-5, C2: C-78-4, C3: C-78-8, C4: C-79-6 and C5: C-79-16 in Mashhad region during the years of 2002-2003 and 2003-2004. According to the results, the relative root mean square error of grain yield simulation by CERES-Wheat model was 7 and 10 % for 2002-2003 and 2003-2004 years, respectively. Because the relative root mean square error was less than 10 percent, so done well simulation. Also, the root mean square error calculated for grain yield for both years was less than 10 percent of the observed mean. The results are indicating a good match to the simulation results of the model. The value water productivity based on crop evapotranspiration and irrigation water value in I3-C-79-6 treatment has the value highest for both years of 2002-2003 and 2003-2004. Therefore, the noted irrigation management (I3) and wheat cultivar (C-79-6) can be recommended in the study area. The overall findings of this study to confirm the optimal performance of the model CERES-Wheat in the growth process simulation and the water impact on yield in the study area.

Keywords: irrigation management; simulation model; water productivity; wheat yield