



شماره ۹۰، بهار ۱۳۹۰

نشریه زراعت

(پژوهش و سازندگی)

ارزیابی مدل رشد گیاهی WFOST در شرایط مدیریت آبیاری

• ابراهیم امیری

استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان (نویسنده مسئول)

• مجتبی رضایی

محقق موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت

• محمد کریم معتمد

استادیار دانشگاه گیلان

• سمیه امامی

کارشناس ارشد دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: آبان ماه ۱۳۸۶ تاریخ پذیرش: تیر ماه ۱۳۸۸

تلفن تماس نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۱۴۴۵۲۰۸

Email: eamiri57@yahoo.com

چکیده

مدل WFOST رشد و نمو گیاهان را در شرایط تولید پتانسیل، کمبود آب و کمبود مواد غذایی شبیه سازی می کند. برای ارزیابی این مدل، پژوهشی در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات برنج، رشت، در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با ۶ مدیریت آبیاری به عنوان تیمار، در سه تکرار طی سال زراعی ۸۴ بر روی رقم هاشمی اجرا گردید. مدیریت ها شامل غرقاب دائم، آبیاری پس از ۱، ۳ و ۵ روز محو شدن آب از سطح زمین و آبیاری با دوره های ۵ و ۸ روز بود. ارزیابی مقادیر شبیه سازی و اندازه گیری شده بیوماس کل، بیوماس پانیکول و شاخص سطح برگ، با استفاده از پارامترهای ضریب تبیین، آزمون تی، جذر میانگین مجذور خطا، جذر میانگین مجذور خطای نرمال شده و کارایی مدل انجام گردید. به طور متوسط مقادیر جذر میانگین مجذور خطای مدل بیوماس کل ۵۵۳-۳۸۹ کیلوگرم بر هکتار، بیوماس پانیکول ۴۲۰-۱۳۹ کیلوگرم بر هکتار و شاخص سطح برگ ۰/۴۶-۰/۵۸ متر مربع سطح برگ در هر متر مربع سطح زمین بدست آمد، همچنین جذر میانگین مجذور خطای نرمال شده بیوماس کل ۱۴-۱۰ درصد، بیوماس پانیکول ۱۶-۷ درصد و شاخص سطح برگ ۸۳-۵۴ درصد تعیین گردید. مدل WFOST مقدار شاخص سطح برگ را در این مطالعه بیشتر از مقدار اندازه گیری شده آن شبیه سازی نمود.

کلمات کلیدی: ارزیابی، برنج، بیوماس، مدل WFOST، مدیریت آبیاری

Agronomy Journal (Pajouhesh & Sazandegi) No:90 pp: 9-17

Evaluation of the crop growth model WOFOST under irrigation management

By: Ebrahim Amiri, Assistant Professor of Islamic Azad University Lahijan Branch, (Corresponding Author; Tel: +989111445208), Mojtaba Rezaei, Scientific Member of the Rice Research Institute of Iran, Mohammad Karim Motamed, Assistant Professor of Guilan University, Rasht, Iran., Somayeh Emami, M.Sc. Student Guilan University, Rasht, Iran.

The model WOFOST, which simulates the growth and development of annual field crops under conditions of potential production, water and nutrient limitations. The model was evaluated against a data set of field experiments. The study was laid out in RCBD with 3 replications for one popular traditional landrace Hashemi carried out in 2005 at Rice Research Institute of Iran, Rasht. The irrigation management were I1 with continuous irrigation while I2, I3, and I4 were irrigation 1, 3 and 5 days after water disappearance of pounded water and I5, I6 were irrigation at 5 and 8 days intervals. We compared simulated and measured leaf area index (LAI) and biomass panicles and total aboveground biomass by adjusted coefficient of correlation (R^2), T test of means, absolute and normalized root mean square errors (RMSE) and modeling Efficiency (EF). On average, RMSE of model were 389-553, kg ha^{-1} for total biomass, 139-246 kg ha^{-1} for panicle biomass and 0.46-0.58 $\text{cm}^2\text{cm}^{-2}$ for LAI. For these crop variables, normalized RMSE values were 10-14 for total biomass, 7-16 for panicle biomass, and 54-83 for LAI. The WOFOST model Simulated LAI generally exceeded measured values.

Key words: Evaluation, Rice, Biomass, Model WOFOST, Irrigation management.

مقدمه

یک مدل کامپیوتری شکل ساده شده ای از یک سیستم واقعی می باشد. سیستم بخش محدود شده ای از دنیای واقعی است، که شامل عناصری است که با یکدیگر رابطه متقابل دارند. سیستمی که در این جا مورد بحث است، سیستم رشد و تولید گیاهی است. مدل WOFOST^۱ در چارچوب مطالعات جهانی امنیت غذا و پتانسیل جهانی تولید غذا، توسط مرکز جهانی مطالعات غذایی در همکاری با دانشگاه واخنینگن هلند و مرکز بیولوژیکی کشاورزی و حاصلخیزی خاک واخنینگن ایجاد گردید. مدل WOFOST یکی از مجموعه مدل هایی است که در دانشگاه واخنینگن توسط دویت پایه گذاری شد و از مدل SUCROS مشتق شده است (۱۸). اصول اولیه مدل WOFOST توسط Van Keulen و Wolf طراحی شده است (۲۱)، که در ابتدا به عنوان مدل شبیه سازی رشد گیاه برای ارزیابی عملکرد پتانسیل گیاهان مختلف در کشورهای استوایی توسعه یافته است (۲۰). ولی با تکمیل آن در حال حاضر WOFOST به عنوان ابزاری برای تحقیق و آنالیز موارد زیر بکاربرده می شود:

- خطرهای وریسک های مربوط به تولید گیاهان
- تغییرات تولید در انواع خاکها یا شرایط هیدرولوژیکی مختلف
- تفاوت بین رشد و تولید گیاهان مختلف
- اهمیت نسبی عوامل تعیین کننده رشد گیاهان
- استراتژی های تاریخ بذرپاشی
- اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد
- زمان استفاده از ماشین آلات کشاورزی
- همچنین می توان از این مدل برای پیش بینی در ارزیابی اراضی کشاورزی در موارد زیر استفاده کرد:
- ارزیابی منطقه ای پتانسیل عملکرد گیاه با توجه به حداکثر مقدار تولید

- برآورد حداکثر مزایای آبیاری با استفاده از کود شیمیایی
- پیش بینی شرایط متفاوت رشد با نمایش شبیه سازی در طول فصل زراعی

- پیش بینی های منطقه ای عملکرد
اولین پژوهش با استفاده از مدل WOFOST، منجر به افزایش استفاده از کودشیمیایی در سه کشور آفریقایی بونینافاسو، غنا و کنیا گردید (۴). در چارچوب نمایش منابع اکولوژیکی کشت با سنجش از دور و مدل های شبیه سازی، WOFOST به عنوان ابزاری برای برآورد پتانسیل عملکرد در برنامه امنیت غذایی در زامبیا مطرح شد و برای ذرت واسنجی و اعتباریابی شد و مورد آزمایش قرار گرفت (۹، ۲۲). Rotter واسنجی و اعتباریابی مدل را برای ذرت در کنیا انجام داد و نتیجه گرفت که مدل مقدار عملکرد را با خطای ۱۵ درصدی پیش بینی می کند (۱۲). WOFOST برای برآورد تولید پتانسیل گیاهان در اتحادیه اروپا به عنوان تابعی از شرایط خاک و اقلیم مورد استفاده قرار گرفته شد (۱۰). WOFOST برای مطالعات ارزیابی اثر تغییر شرایط اقلیمی بر رشد محصول مورد استفاده قرار گرفته است (۲۳). مدل WOFOST در سیستم پایش رشد گیاهی (Crop Growth Monitoring System) برای تخمین عملکرد گیاهان مختلف نظیر گندم، جو، پنبه، آفتابگردان، برنج، سویا، سیب زمینی و دانه های روغنی در اتحادیه اروپا مورد استفاده قرار گرفته است. در این سیستم مدل با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) متصل گردید (۱). Eitzinger و همکاران سه مدل SWAP، CERES و WOFOST را برای شبیه سازی رشد نمو، جو و گندم در شرایط لایسیمیتری برای سه نوع خاک استفاده کردند، نتیجه نشان داد که مدل CERES و SWAP نسبت به مدل WOFOST عملکرد را با دقت بیشتری شبیه سازی می کند (۶). هدف از این مقاله ارزیابی مدل WOFOST است که شامل واسنجی پارامترهای گیاهی و اعتباریابی مدل برای شبیه سازی اجزای مختلف

تعرق واقعی به تعرق پتانسیل ($\frac{Ta}{Tp}$) یک می باشد. خارج این محدوده، کوچک تر از ۱ می شود، در نتیجه منجر به کاهش جذب در نتیجه کاهش عملکرد گیاه می شود. رطوبت بحرانی (θCr) به نوع گیاه و آب و هوا بستگی دارد (۵).

مشخصات محل آزمایش

محل اجرای آزمایش در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات برنج کشور، رشت، در مختصات جغرافیایی "۱۹' ۱۲' ۳۷° عرض شمالی و "۲۸' ۳۸' ۴۹° طول شرقی، در ارتفاع ۷ متری پایین تر از سطح دریا بود.

مدیریت های آبیاری

برای واسنجی و اعتبار یابی مدل WOFOST در سال زراعی ۱۳۸۴ مدیریت های آبیاری مختلفی در سه تکرار و در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در مزرعه مؤسسه تحقیقات برنج در رشت، در خاک رسی انجام شد، که مدیریت های آبیاری به صورت زیر می باشند:

- ۱- آبیاری غرقاب دائم
 - ۲- آبیاری پس از ۱ روز محو شدن آب از سطح زمین
 - ۳- آبیاری پس از ۳ روز محو شدن آب از سطح زمین
 - ۴- آبیاری پس از ۵ روز محو شدن آب از سطح زمین
 - ۵- آبیاری با دور ۵ روزه
 - ۶- آبیاری با دور ۸ روزه
- آزمایش در کرت هایی به ابعاد ۵×۳ متر اجرا شد.

اندازه گیری های گیاهی

برای اندازه گیری ماده خشک (بیوماس) در اجزای مختلف برنج (برگ، ساقه و پانیکول) در طول فصل زراعی به طور متوسط هر ۱۵-۱۰ روز، اقدام به نمونه برداری از هر مدیریت آبیاری گردید. در هر نوبت نمونه برداری، تعداد ۸-۱۲ کپه از هر مدیریت آبیاری کف برگ گردید، ابتدا مقدار سطح برگ سبز با استفاده از دستگاه اندازه گیری سطح برگ (Leaf Area meter) مدل L۱۳۱۰۰ ساخت شرکت LI-cor اندازه گیری گردید، سپس اجزای مختلف گیاه در داخل گرمخانه به مدت ۲ روز در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفت، پس از توزین نمونه ها میزان ماده خشک در اجزای مختلف برنج ثبت گردید.

معیارهای ارزیابی نتایج مدل

در ارزیابی مدل از مقایسه گرافیکی مقدار شبیه سازی و اندازه گیری شده بیوماس کل، بیوماس پانیکول و شاخص سطح برگ برای هر مدیریت آبیاری از ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید (۳). جهت ارزیابی آماری نتایج شبیه سازی بیوماس کل، بیوماس پانیکول و شاخص سطح برگ از آزمون تی ($P(t)$) و پارامترهای آماری زیر استفاده شد:

$$RMSE = \left(\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} \quad (2)$$

گیاه برنج (بیوماس کل، بیوماس پانیکول و شاخص سطح برگ) می باشد.

مواد و روش ها

مدل WOFOST

مدل WOFOST نمو فنولوژیکی و رشد گیاه را از آغاز جوانه زنی تا زمان رسیدگی بر اساس خصوصیات ژنتیکی گیاه و شرایط محیطی توصیف می کند. این برنامه ماده خشک گیاه را به عنوان تابعی از تشعشع، دما و خصوصیت های گیاه در مراحل زمانی یک روز شبیه سازی می کند. اصول محاسبه تولید ماده خشک، سرعت ناخالص جذب CO_2 توسط کانوپی است، که به انرژی تابشی جذب شده بستگی دارد که تابعی از تشعشع روزانه، سطح برگ گیاه و ضریب خاموشی نور در کانوپی است. WOFOST میزان جذب CO_2 ناخالص از یک گیاه را بر پایه تشعشع فعال فتوسنتزی (۵۰ درصد از کل تشعشع خورشیدی با طول موج ۴۰۰ تا ۷۰۰ نانومتر) جذب شده توسط گیاه شبیه سازی می کند. CO_2 با استفاده از انرژی تامین شده بوسیله نور به کربوهیدرات (CH_2O) تبدیل می شود (۷). قسمتی از کربوهیدرات های تولید شده (CH_2O) در تنفس نگهداری مصرف شده و کربوهیدرات های باقیمانده در مسیر تنفس رشد به ماده خشک تبدیل می شوند (۱۴)، فرایندهای ذکر شده ساختار مدل، در شکل ۱ ارائه شده است. رشد در مدل به صورت دینامیک با گام زمانی یک روزه شبیه سازی می شود. مدل WOFOST دارای نسخه های مختلفی است که در طول سال های مختلف ایجاد شده است (۸، ۱۱، ۱۵، ۱۶). در این تحقیق از نسخه WOFOST ۷،۱،۲ برای شبیه سازی سالانه محصولات در اروپا توسعه یافته بود استفاده شده است (۲).

برای توصیف نمو فنولوژیکی گیاه در مدل WOFOST از متغیر DVS استفاده می شود که برای جوانه زنی (یا انتقال برای گیاهان نشایی مانند برنج)، گلدهی و برداشت به ترتیب مقادیر ۰، ۱ و ۲ در نظر می گیرد که تابعی از درجه روز می باشد (۱۹).

دوره زندگی برنج در مدل WOFOST به دو مرحله تقسیم می شود:

- ۱- دوره رویشی: از جوانه زنی یا نشا ($DVS=0$) تا زمان گلدهی ($DVS=1$).
- ۲- دوره زایشی: از گلدهی ($DVS=1$) تا زمان رسیدگی فیزیولوژیکی ($DVS=2$).

در WOFOST، محدوده رطوبت خاک برای رشد گیاهان که تابعی از تعرق می باشد مشخص شده است، در این محدوده گیاه دچار کمبود آبی نمی شود و نیاز آبی گیاه تامین می شود. خارج از این محدوده، خاک خیلی خشک یا خیلی مرطوب می باشد. هر دو این شرایط می تواند میزان جذب آب را کاهش دهد. تنش آبی با بستن روزنه ها، منجر به کاهش جذب CO_2 و مبادله CO_2 و O_2 میان گیاه و اتمسفر می شود. در مدل برای مشخص کردن این تاثیر از معادله ۱ استفاده می شود که در این معادله A میزان جذب واقعی، AP میزان جذب پتانسیل، Ta میزان تعرق و TP میزان تعرق پتانسیل می باشد:

$$A = \frac{Ta}{Tp} \cdot A_p \quad (1)$$

در محدوده رطوبت بحرانی (θCr) و ظرفیت مزرعه ای (θFC)، نسبت

۲/۰۰ ۰/۰۰۰۸

- راندمان مصرف نور توسط تک برگ (EFFTB):

دما EFFTB [(kg ha⁻¹ h⁻¹)/(J m⁻² s⁻¹)]

۱۰ ۰/۴

۴۰ ۰/۴

- فاکتورهای تفکیک ماده خشک بین اجزای گیاه (برگ (-)FLTB)،

ساقه (-)FSTB و پانیکول (-)FSTB در طول دوره رویش:

DVS FLTB(-) FSTB(-) FOTB(-)

۰/۰ ۰/۶ ۰/۴ ۰/۰۰

۰/۵۰ ۰/۶ ۰/۴ ۰/۰

۱/۰۰ ۰/۲ ۰/۵ ۰/۳

۱/۳۰ ۰/۰ ۰/۰ ۱/۰

۱/۶۰ ۰/۰ ۰/۰ ۱/۰

۲/۰۰ ۰/۰ ۰/۰ ۱/۰

در مرحله اعتبار یابی مدل، به علت اینکه شرایط غیر غرقاب وجود دارد، مدل نیاز به داده ورودی خاک می باشد، که داده های آن شامل رطوبت در نقاط ظرفیت مزرعه ای، پژمردگی دائم، اشباع و رطوبت بحرانی و هدایت هیدرولیکی اشباع در محدوده توسعه ریشه می باشد، که با استفاده از دستگاه صفحات فشاری مقادیر و برنامه RETC داده های مورد نیاز محاسبه گردید (۱۷).

در نقطه پژمردگی دائم = ۰/۲۳ [cm^۳/cm^۳]در نقطه ظرفیت زراعی = ۰/۳۴ [cm^۳/cm^۳]در نقطه اشباع = ۰/۶۱ [cm^۳/cm^۳]در نقطه بحرانی = ۰/۱۰۷ [cm^۳/cm^۳]هدایت هیدرولیکی اشباع = ۱۵ [cm day⁻¹]

در جدول ۲، نتایج پارامترهای آماری که برای ارزیابی مدل WOFOST استفاده شده است، وجود دارد. جذر میانگین مجذور خطای بیوماس کل در حالت واسنجی ۵۸۰ کیلوگرم بر هکتار و در اعتباریابی ۸۷۱-۵۳۲ کیلوگرم بر هکتار، جذر میانگین مجذور خطای نرمال شده بیوماس کل در واسنجی و اعتباریابی در محدوده ۲۴-۱۴ درصد و کارایی مدل ۰/۹۸-۰/۹۳ محاسبه گردید. جذر میانگین مجذور خطای بیوماس پانیکول در واسنجی و اعتباریابی در محدوده ۳۶۹-۴۷۳ کیلوگرم بر هکتار، جذر میانگین مجذور خطای نرمال شده بیوماس پانیکول در واسنجی و اعتباریابی ۲۴-۱۰ کارایی مدل ۰/۹۶-۰/۹۲ محاسبه گردید. جذر میانگین مجذور خطای شاخص سطح برگ در حالت واسنجی ۰/۲۳ متر مربع برگ بر متر مربع زمین و در حالت اعتباریابی ۰/۵۲-۰/۳۵ متر مربع برگ بر متر مربع زمین، خطای میانگین مجذور خطای نرمال شده شاخص سطح برگ در واسنجی و اعتباریابی ۷۰-۲۷ درصد و کارایی مدل ۰/۸۵-۰/۰۴ بدست آمد، همچنین مقدار ضریب تبیین بیوماس کل در محدوده ۰/۹۸-۰/۴، بیوماس پانیکول ۰/۹۸-۰/۹۴ و شاخص سطح برگ ۰/۹۲-۰/۶۴ محاسبه گردید. مقدار ضریب تبیین برای بیوماس کل ۰/۹۸-۰/۹۴، بیوماس پانیکول ۰/۹۸-۰/۹۴ و شاخص سطح برگ ۰/۹۲-۰/۶۴ محاسبه گردید. در شکل های ۲ و ۳ می توان تغییرات شبیه سازی- اندازه گیری بیوماس کل، بیوماس پانیکول و شاخص سطح برگ را در مدیریت های آبیاری ملاحظه کرد. نتایج آزمون تی نشان می دهد که مقادیر شبیه سازی کلیه پارامترهای گیاهی در شرایط

$$RMSE_n = 100 \left(\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} / O_{mean} \quad (۳)$$

$$FE = \left(\sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right) / \sum_{i=1}^n (O_i - O_{mean})^2 \quad (۴)$$

که در این روابط:

Pi = مقدار شبیه سازی مدل اجزای گیاهی

Oi = مقدار اندازه گیری واقعی اجزای گیاهی

N = تعداد اندازه گیری واقعی اجزای گیاهی

O_{mean} = میانگین مقادیر اندازه گیری اجزای گیاهی

RMSE (Root Mean Square Error) = جذر میانگین مجذور خطا

RMSEn (Root Mean Square Error-Normalized) = جذر

میانگین مجذور خطای نرمال شده

EF (Modeling Efficiency) = کارایی مدل

چنانچه مقدار نتیجه آزمون تی بیشتر از ۰/۰۵ باشد بدان مفهوم است که مقادیر شبیه سازی پارامتر در سطح احتمال ۹۵ درصد شبیه اندازه واقعی پارامتر می باشد. مقادیر جذر میانگین مجذور خطا و جذر میانگین مجذور خطای نرمال شده در حالت ایتیمیم یا حالتی که مقادیر شبیه سازی شده و اندازه گیری شده مساوی باشد برابر با صفر و مقدار کارایی مدل در این حالت برابر با یک می باشد.

نتایج و بحث

برای واسنجی مدل WOFOST از بخش اجرای مجدد (RERUN) که جزئی از مدل می باشد استفاده شد. برای انجام واسنجی مدل، داده های اندازه گیری شده مدیریت آبیاری غرقاب به عنوان داده های واسنجی مورد استفاده قرار گرفت و داده های سایر مدیریت ها آبیاری برای اعتبار یابی مدل بکار برده شد. اولین جزئی از مدل که باید واسنجی شود، معرفی فنولوژیک گیاه برنج است که شامل دوره رویشی (نشا- گلدهی) و زایشی (گلدهی- برداشت) می باشد، در مدل WOFOST درجه سانتیگراد - روز برای معرفی فنولوژیک دوره رویشی (T_{SUM1}) و دوره زایشی (T_{SUM2}) با استفاده از داده های هواشناسی که جزئی از داده های ورودی مدل است محاسبه گردید:

T_{SUM1} = ۷۵۰ (درجه سانتیگراد- روز)T_{SUM2} = ۴۲۰ (درجه سانتیگراد- روز)

سایر پارامترهای گیاهی مدل WOFOST که در مرحله واسنجی بر اساس داده های اندازه گیری شده در شرایط آبیاری غرقاب دائم به دست می آید شامل:

- ماده خشک اولیه در روز انتقال نشاء به زمین اصلی (TDWI):

TDWI = ۵۰ [kg ha⁻¹]

- سطح ویژه برگ در طول دوره رویش (SLA, ha/kg):

DVS SLA (ha/kg)

۰/۰۰ ۰/۰۰۲۸

۰/۶۴ ۰/۰۰۱۷

۱/۰۰ ۰/۰۰۱۲

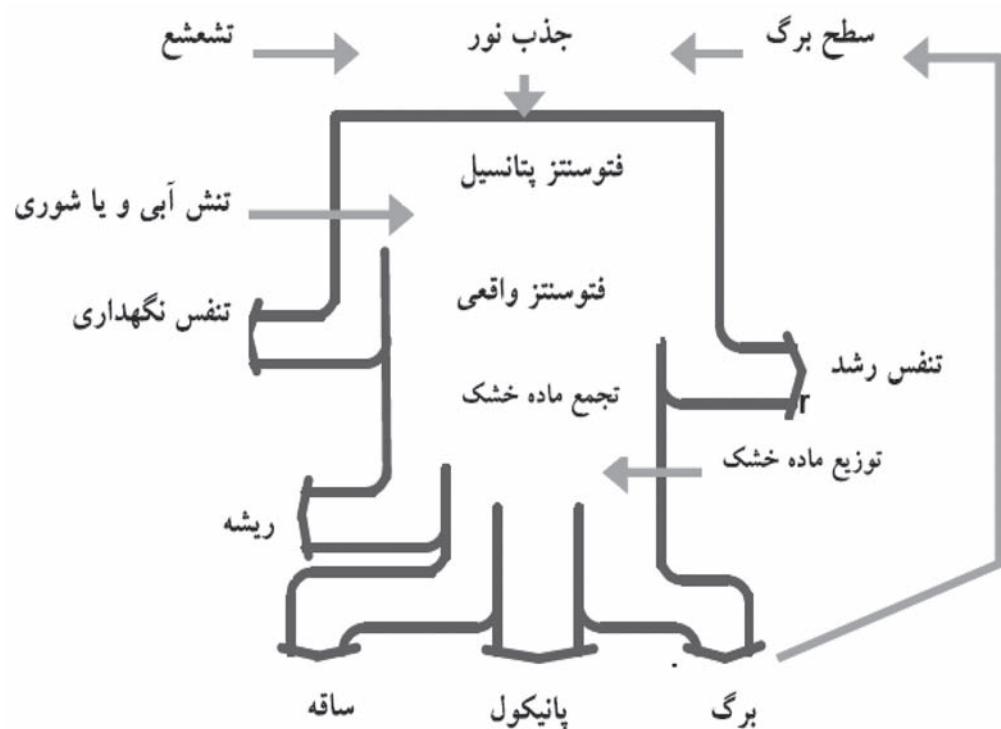
غیرغرقاب مقدار شاخص سطح برگ را بیشتر از مقدار واقعی شبیه سازی می کند، زیرا در شرایط غیر غرقاب، خشکی منجر به افت سطح ویژه برگ و کاهش شاخص سطح برگ می شود، در حالی که مدل توانایی ایجاد این افت را ندارد، زیرا در مدل مقدار سطح ویژه برگ در طول دوره رویش ثابت در نظر گرفته شده است.

کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل در مدیریت های آبیاری در سطح احتمال ۹۵ درصد شبیه مقادیر اندازه گیری شده پارامترهای گیاهی می باشد. با توجه به روند شبیه سازی شاخص سطح برگ در مدیریت های آبیاری، مشاهده می شود که مدل در مدیریت غرقاب، شاخص سطح برگ را نسبت به سایر مدیریت ها بهتر شبیه سازی می کند، اما در مدیریت های

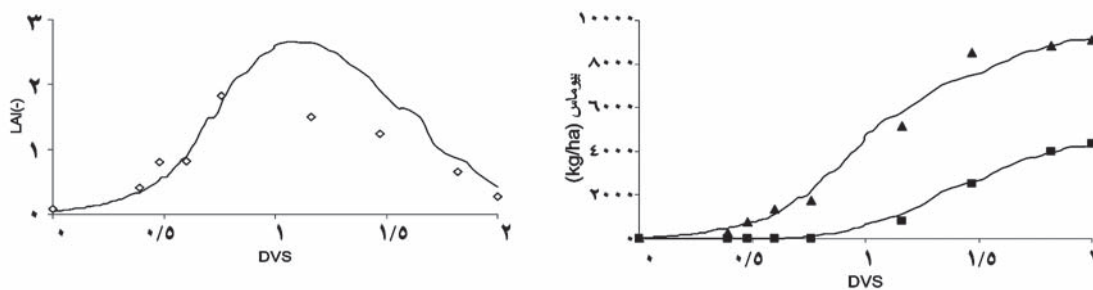
جدول ۱- مقایسه نتایج شبیه سازی- اندازه گیری اجزای گیاهی در مدیریت های آبیاری

| پارامتر گیاهی | | مدیریت آبیاری | | | | | |
|--------------------|----------------------------------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|-----------|
| | | واسنجی | اعتباریابی | | | | |
| | | | غرقاب | محو شدن ۱ روز | محو شدن ۳ روز | محو شدن ۵ روز | دور ۵ روز |
| RMSE | ($kg\ ha^{-1}$) بیوماس پانیکول | ۱۳۹ | ۲۱۶ | ۲۵۰ | ۲۳۳ | ۴۲۰ | ۳۱۶ |
| | ($kg\ ha^{-1}$) بیوماس کل | ۴۴۵ | ۴۲۲ | ۳۸۹ | ۵۰۶ | ۵۵۳ | ۴۳۷ |
| | LAI(-) | ۰/۴۶ | ۰/۵۸ | ۰/۵۶ | ۰/۵۵ | ۰/۵۶ | ۰/۵۱ |
| RMSE-N(%) | بیوماس پانیکول | ۷ | ۱۲ | ۱۴ | ۱۳ | ۱۵ | ۱۶ |
| | بیوماس کل | ۱۱ | ۱۱ | ۱۰ | ۱۴ | ۱۴ | ۱۱ |
| | LAI | ۵۴ | ۷۸ | ۷۷ | ۸۳ | ۷۷ | ۷۳ |
| R ² (-) | بیوماس پانیکول | ۰/۹۹ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۵ | ۰/۹۸ |
| | بیوماس کل | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۸ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۸ |
| | LAI | ۰/۷۷ | ۰/۶۷ | ۰/۶۶ | ۰/۷۸ | ۰/۷۳ | ۰/۷۶ |
| P(t) | بیوماس پانیکول | ۰/۳۵ | ۰/۰۸ | ۰/۲۳ | ۰/۲۱ | ۰/۴ | ۰/۷۵ |
| | بیوماس کل | ۰/۹۸ | ۰/۱۴ | ۰/۳۶ | ۰/۱ | ۰/۷۲ | ۰/۷۹ |
| | LAI | ۰/۲۳ | ۰/۱۴ | ۰/۱۵ | ۰/۰۷ | ۰/۳۲ | ۰/۴۴ |
| EF(-) | بیوماس پانیکول | ۰/۹۹ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۷ | ۰/۹۴ | ۰/۹۸ |
| | بیوماس کل | ۰/۹۸ | ۰/۹ | ۰/۹۸ | ۰/۹۹ | ۰/۹۷ | ۰/۹۸ |
| | LAI | ۰/۴۳ | -۰/۱۹ | -۰/۲۵ | ۰/۱۹ | -۰/۱۸ | -۰/۰۰۶ |

۱- * و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

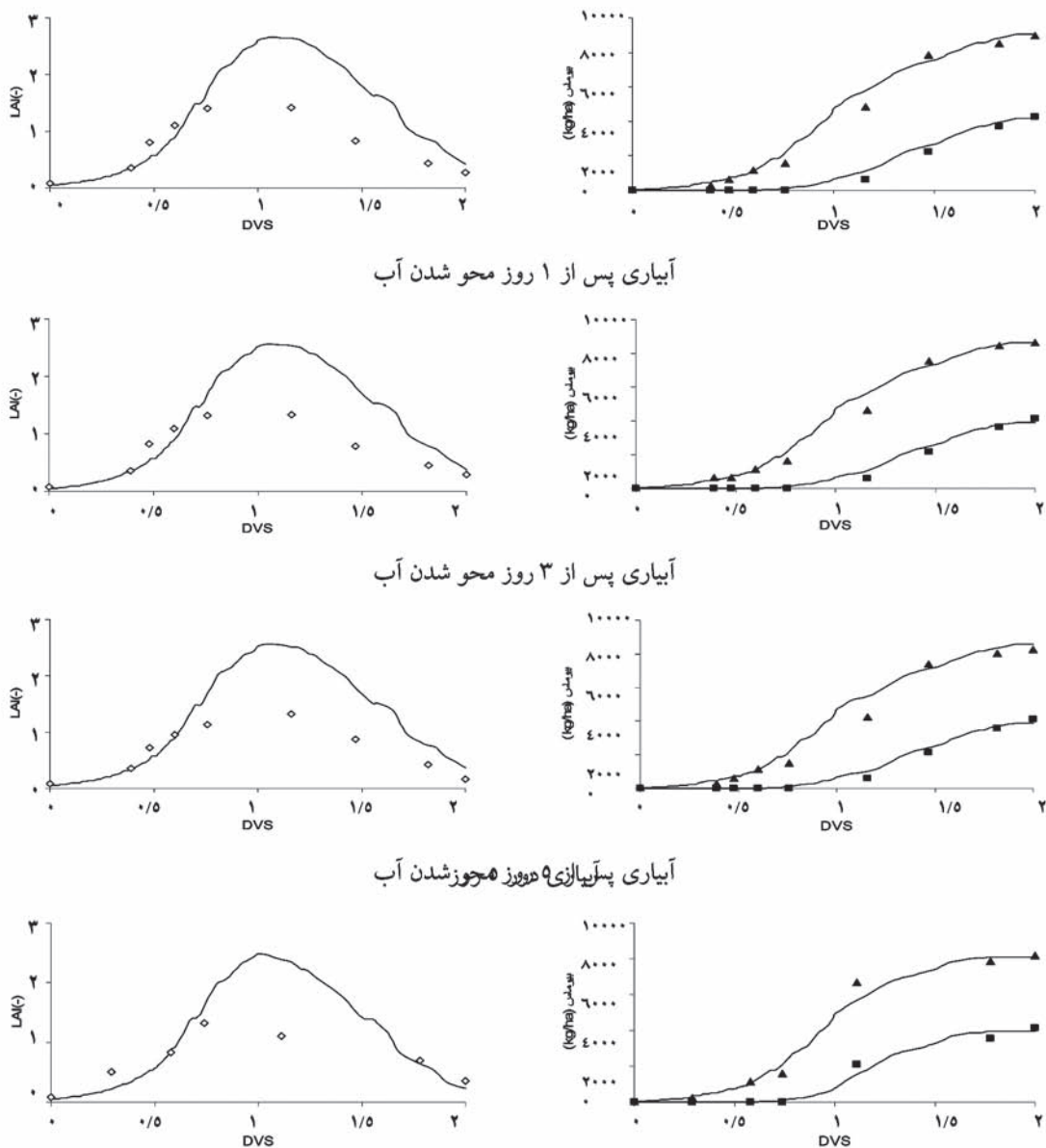


شکل ۱- ساختار مدل WOFOST



شکل ۲- شبیه سازی و اندازه گیری اجزای گیاهی مدیریت آبیاری غرقاب

▲، ■ و ◇ به ترتیب مقدار بیوماس کل، بیوماس پانیکول و شاخص سطح برگ اندازه گیری شده



آبیاری پس از ۱ روز محو شدن آب

آبیاری پس از ۳ روز محو شدن آب

آبیاری پس از ۹ روز محو شدن آب

شکل ۳- شبیه سازی و اندازه گیری اجزای گیاهی مدیریت های آبیاری

different soil conditions. *Ecological Modelling* 171 : 223-246.

7- Goudriaan, J., (1986) A simple and fast numerical method for the computation of daily totals of canopy photosynthesis. *Agricultural and Forest Meteorology* 43, 251-255.

8- Hijmans, R.J., Guiking-Lens I.M. and van Diepen, C.A. (1994) *WOFOST 6.0; User's guide for the WOFOST 6.0 crop growth simulation model*. Technical Document 12. DLO Winand Staring Centre, Wageningen.

9- Huygen, J. (ed.), (1990) *Simulation studies on the limitations to maize production in Zambia*. Report 27. DLO Winand Staring Centre, Wageningen.

10- Rabbinge, R. and van Latesteijn, H.C. (1992) Long-term options for land use in the European Community. *Agricultural Systems* 40:195-210.

11- Rappoldt, C., (1986) *Crop growth simulation model WOFOST*. Documentation version 3.0. CWFS, Amsterdam, Wageningen.

12- Rotter, R., H. van Keulen and M.J.W. Jansen, (1997) Variations in yield response to fertilizer application in the tropics: I. quantifying risks for small holders based on crop growth simulation. *Agric. Systems* 53 41-68.

13- Roetter, R., Hoanh, C.T., Teng, P.S., (1998) *A systems approach to analyzing land use options for sustainable rural development in South and Southeast Asia*. IRRI Discussion Paper Series 28. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, p. 110.

14- Spitters, C.J.T., Toussaint H.A.J.M. and Goudriaan, J. (1986) Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modelling canopy photosynthesis. Part I: Components of incoming radiation. *Agricultural and Forest Meteorology* 38: 217-229.

15- Supit, I., Hooyer A.A. and van Diepen C.A. (Eds.), (1994) *System description of the WOFOST 6.0 crop simulation model implemented in CGMS*. Vol. 1: Theory and algorithms. EUR publication 15956, Agricultural series, Luxembourg, 146p.

16- Van Diepen, C.A., Rappoldt, C. Wolf J.& van Keulen, H. (1988) *Crop growth simulation model WOFOST*. Documentation version 4.1, Centre for world food studies, Wageningen.

17- Van Genuchten, Th, M. Leij F.J. and Yates, S.R. (1991) *The RETC code for quantifying the hydraulic functions for unsaturated soils*. U.S. Salinity Laboratory, Riverside, California.

18- Van Ittersum, M.K., Le elaar, P.A., Van Keulen, H., Krop, M.J., Bastiaans, L., Goudriaan, J., (2003) *On approaches and applications of the Wageningen crop models*. European Journal of Agronomy 18, 201-234.

19- Van Keulen, H., (1986) *The collection and treatment of basic*

نتیجه گیری

بر اساس نتایج ارزیابی آماری و گرافیکی مدل به منظور شبیه سازی بیوماس کل، بیوماس پانیکول و شاخص سطح برگ می توان نتیجه گرفت که مدل WOFOST در شبیه سازی بیوماس کل و بیوماس پانیکول از دقت مناسبی برخوردار است، ولی شاخص سطح برگ را به خوبی شبیه سازی نمی کند، نتایج نشان از شبیه سازی بیشتر شاخص سطح برگ توسط مدل می دهد، علت آن را می توان استفاده از مقادیر ثابت سطح ویژه برگ، که پارامتر تعیین کننده برای شبیه سازی شاخص سطح برگ توسط مدل است، دانست. علی رغم تخمین بیش از حد شاخص سطح برگ، بیوماس کل نسبتاً خوب است، زیرا در شاخص سطح برگ زیاد، اغلب میزان تابش محدود شده و افزایش شاخص سطح برگ به فتوسنتز کانوپی بیشتر منجر نشده است، شبیه سازی بیشتر شاخص سطح برگ توسط مدل های مختلف نظیر WOFOST (۱۳) و ORYZA۲۰۰۰ (۳) برای برنج نیز گزارش شده است. به منظور دست یافتن به نتایج بهتر از مدل در شبیه سازی شاخص سطح برگ در طول فصل زراعی، مدل در زیر بخش شبیه سازی شاخص سطح برگ نیاز به توسعه دارد.

پاورقی ها

1- World Food Studies

2- T test

منابع مورد استفاده

- Boogaard, H.L., Diepen, C.A. van, Eerens, H., Kempeneers, P., Piccard, I., Verheijen, Y., Supit, I., (2002) *Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS)*. METAMP (Methodology Assessment of MARS Predictions) Report 1/3, Alterra, Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), Supit Consultancy, Wageningen, Mol, Houten.
- Boogaard, H.L., Diepen, van, Rötter, C.A. Cabrera, R.P., Laar, J.M.C.A., Van., H.H. (1998) *User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center* 1.5. Technical document 52, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, Netherlands.
- Bouman, B.A.M., Van Laar, H.H., (2006) Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. *Agric. Syst.* 87, 249-273.
- CWFS, (1985) *Potential food production increases from fertilizer aid: A case study of Burkina Faso, Ghana and Kenya*. CWFS, Wageningen.
- Driessen, P.M., (1986) *The water balance of the soil*. In: Van Keulen and Wolf, 1986. 76-116.
- Eitzinger, J., Trnka, M., Hosch, J., Zalud, Z., Dubrovsk, M. (2004) Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under

Immerzeel, (1989) *A study on the limitations to maize production in Zambia using simulation models and a geographic information system*. In: Bouma, J. and A.K. Brecht (Eds.). Land qualities in space and time, proceedings of a symposium organized by the International society of soil science (ISSS), Wageningen, the Netherlands, 22-26 August 1988. *Pudoc, Wageningen*. 209-215.

Keulen, eds., *The Future of the Land, Mobilising and Integrating knowledge for land use options*, John Wiley & Sons, p. 249-260.

23- Wolf, J. and van Diepen, C.A. (1994) Effects of climate change on silage maize production potential in the European Community. *Agricultural Forest Meteorology* 71 (1994), 1/2: 33-60.

data. Plant data. In: Van Keulen and Wolf, 1986. 235-247.

20- Van Keulen, H., and C.A. van Diepen, (1990) *Crop growth models and agroecological characterization*. In: Scaife, A. (ed.): Proceedings of the first congress of the European Society of Agronomy, 5-7 December 1990, Paris. CEC, ESA, INRA. Session 2:1-16. Paris.

21- Van Keulen, H., Wolf, J., (1986) *Modelling of agricultural production: Weather soils and crops*. Simulation Monographs. Pudoc, Wageningen, The Netherlands, p. 479.

22- Wolf, J., J.A.A. Berkhout, C.A. van Diepen and C.H. van

