



ارزیابی مدل WOFOST در شبیه‌سازی عملکرد بادام‌زمینی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

ابراهیم امیری^۱، علی عبدزادگوهری^{۲*}، زهرا سعادت^۳

۱- گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

۲- باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد اسلامشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، اسلامشهر، ایران

۳- گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۸/۸/۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۳/۹

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 WOFOST جهت شبیه‌سازی پاسخ عملکرد بادام‌زمینی تحت مدیریت‌های آبیاری با دوره‌های ۶، ۱۲ و ۱۸ روز و مقادیر ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر به عنوان عامل دوم در منطقه‌ای واقع در شرق استان گیلان در دو فصل زراعی ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ استفاده شد. با توجه به نتایج، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای شبیه‌سازی عملکرد و ماده خشک توسط مدل WOFOST در سال ۱۳۹۰ به ترتیب برابر ۰/۲۰۵ و ۱/۰۷۵ تن بر هکتار و در سال ۱۳۹۱ به ترتیب برابر ۰/۲۶۴ و ۰/۷۹۸ تن بر هکتار بدست آمد. هم‌چنین، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نسبی شبیه‌سازی عملکرد و ماده خشک در سال ۱۳۹۰ به ترتیب برابر ۱۰ و ۱۵/۲ درصد و در سال ۱۳۹۱ به ترتیب برابر ۱۵ و ۱۲ درصد تعیین گردید. به‌طور کلی نتایج این مطالعه حاکی از مطابقت خوب نتایج شبیه‌سازی مدل می‌باشد. هم‌چنین نتایج نشان داد که در سال ۹۰ و ۹۱ به ترتیب تیمار آبیاری با دور آبیاری ۱۲ روز و مقدار ۱۰ میلی‌متر و تیمار آبیاری با دور آبیاری ۱۸ روز و مقدار ۱۰ میلی‌متر دارای کمترین مقدار عملکرد و ماده خشک شبیه‌سازی شده هستند. از مقایسه پارامترهای آماری بین عملکرد و ماده خشک می‌توان نتیجه گرفت که در هر دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱، عملکرد نسبت به ماده خشک تطابق بهتری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده آن وجود دارد. به طور کلی، کارایی مطلوب مدل WOFOST در شبیه‌سازی فرآیند رشد و تاثیر آب بر عملکرد بادام زمینی در منطقه مورد مطالعه را تایید می‌نماید.

واژه‌های کلیدی: بادام‌زمینی، دور آبیاری، عملکرد، مدل

* نگارنده مسئول (abdzadgohari_a@yahoo.com)

مقدمه

بادامزمینی (*Arachis hypogaea* L.) یک گیاه یکساله و علفی است که در ۹۶ کشور جهان کشت می‌شود (Lakkineni & Abrol, 1995). این گیاه می‌تواند بخش ارزشمندی از پروتئین غذایی انسان را خصوصاً در کشورهایی که از فقر پروتئین رنج می‌برند، تأمین کند. سالانه ۲۵/۷ میلیون تن بادامزمینی در سطح جهان از ۲۱ میلیون هکتار زمین زراعی تولید می‌شود. آسیا با داشتن ۱۷/۹ میلیون تن بادامزمینی حدود ۷۰ درصد از تولید این محصول را به خود اختصاص داده است. بنابر آمار، سطح زیر کشت این محصول در کشور، ۳ هزار هکتار است و نزدیک به ۲۵۰۰ هکتار با متوسط عملکرد ۳۵۰۰-۴۰۰۰ کیلوگرم غلاف در هکتار توسط ۵ هزار بادام‌کار در استان گیلان کشت می‌شود (حسین‌زاده، ۱۳۸۵). امروزه فناوری اطلاعات، امکان شبیه‌سازی پدیده‌های مختلف فیزیکی، بیولوژیکی و اقلیمی را در عرصه‌های مختلف پژوهشی امکان‌پذیر ساخته است. در علوم زراعی نیز مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی امکان پیش‌بینی رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی را فراهم ساخته است. مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی که رشد گیاه، مصرف آب و عملکرد را پیش‌بینی می‌کنند، با اهدافی نظیر درک واکنش گیاهان زراعی به تغییرات سیستم اقلیم، گیاه و آب، ارزیابی صفات فیزیولوژیکی جهت بهبود ژنتیکی عملکرد و کمک به تصمیم‌سازی‌ها جهت بهینه‌سازی استفاده از

منابع قابل دسترس مورد استفاده قرار می‌گیرند (Soltani *et al.*, 2006).

با استفاده از این مدل‌ها، هزینه‌ها و زمان مورد نیاز برای انجام آزمایش‌ها کاهش می‌یابد و علاوه بر آن می‌توان با این مدل‌ها به جای چند سال آزمایش در مزرعه، با کمک آمار هواشناسی بلند مدت، گیاه مورد نظر را چندین سال با استفاده از مدل کاشت کرد و نتایج آن را مورد ارزیابی قرار داد (Soltani & Hoogenboom, 2007). از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی برای انجام مطالعات مختلف از جمله انتخاب گیاه و رقم مناسب، تعیین خصوصیات مطلوب گیاهی، تعیین بهترین مدیریت زراعی، پیش‌بینی اثر تنوع و تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصول و تخمین عملکرد بالقوه استفاده شده است (Soltani *et al.*, 2004). مدل‌های گیاهی برای اهداف مختلفی استفاده می‌شوند. به طور کلی این مدل‌ها نتایج آزمایشات و تحقیقات کشاورزی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند (Steduto *et al.*, 2009). برای تعیین زمان‌بندی مطلوب در کم آبیاری نیاز به درک درستی از واکنش گیاه به تنش آبی می‌باشد، که این امر می‌تواند با استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز رشد گیاه صورت گیرد (Farahani *et al.*, 2009). مدل WOFOST در چارچوب مطالعات جهانی امنیت غذا و پتانسیل جهانی تولید غذا، توسط مرکز جهانی مطالعات غذایی با همکاری دانشگاه واخنینگن و مرکز بیولوژیکی کشاورزی و حاصلخیزی خاک

هم‌چنین مدل WOFOST برای مطالعات ارزیابی اثر تغییر شرایط اقلیمی بر رشد محصول مورد استفاده قرار گرفته است (Wolf & Van Diepen, 1994). این مدل در سیستم پایش رشد گیاهی برای تخمین عملکرد گیاهان مختلف نظیر گندم، جو، پنبه، آفتابگردان، برنج، سویا، سیب‌زمینی و دانه‌های روغنی در اتحادیه اروپا مورد استفاده قرار گرفت. در این شرایط مدل با سیستم اطلاعات جغرافیایی متصل گردید (Boogaard *et al.*, 2002). Eitzinger *et al.* (2004) سه مدل SWAP، CERES و WOFOST را برای شبیه‌سازی رشد و نمو، جو و گندم در شرایط لایسیمی برای سه نوع خاک در اتریش در طول دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ استفاده کردند. در این آزمایش مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت خاک، اجزای بیلان آب، سرعت پیشروی ریشه و عملکرد گیاه با مقادیر شبیه‌سازی شده مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل CERES و SWAP نسبت به مدل WOFOST عملکرد را با دقت بیشتری شبیه‌سازی می‌کند ولی هر سه مدل رطوبت خاک را تقریباً با نتایج مشابهی شبیه‌سازی کردند، دامنه ریشه میانگین مربعات خطای رطوبت خاک برای جو بین ۰/۷۱ تا ۴/۶۷ درصد و برای گندم ۲/۳۲ تا ۶/۷۷ درصد بدست آمد. بافکار و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد محصول WOFOST به پیش‌بینی پتانسیل تولید ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در منطقه ماهیدشت کرمانشاه پرداختند. نتایج این مطالعه

واخنینگن ایجاد گردید (Bouman *et al.*, 1996). مدل مذکور شبیه‌سازی رشد گیاه را بر اساس میزان تشعشع رسیده انجام می‌دهد. مدل WOFOST یک عضو از خانواده مدل‌هایی است که در دانشگاه واخنینگن توسط دوویت پایه گذاری شد و جزء مدل‌هایی است که از مدل SUCROS مشتق شده است (Van Ittersum *et al.*, 2003). اصول اولیه این مدل توسط ون کولن و ولف نوشته شده است. مدل WOFOST در ابتدا به عنوان مدل شبیه‌سازی رشد گیاه برای ارزیابی عملکرد پتانسیل گیاهان مختلف در کشورهای استوایی توسعه یافت (Van Keulen *et al.*, 1990). اولین پژوهش با استفاده از مدل WOFOST، منجر به افزایش استفاده از کود شیمیایی در سه کشور بوركینافاسو، غنا و کنیا گردید (CWFS, 1985). در چارچوب نمایش منابع اکولوژیکی کشت با سنجش از دور و مدل‌های شبیه‌سازی، 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 (Huygen, 1990; Wolf *et al.*, 1989). Rotter *et al.* (1997) واسنجی و اعتباریابی مدل را برای ذرت در کنیا انجام دادند و نتیجه گرفتند که مدل مقدار عملکرد را با خطای ۱۵ درصدی پیش‌بینی می‌کند. مدل WOFOST برای برآورد تولید پتانسیل گیاهان در اتحادیه اروپا به عنوان تابعی از شرایط خاک و اقلیم مورد استفاده قرار گرفت (Rabbinge & Van Latesteijn, 1992).

همبستگی بزرگتر از ۰/۹۸ بدست آمد. سعادت و همکاران (۱۳۹۱) از مدل WOFOST جهت شبیه سازی پاسخ عملکرد دو رقم برنج محلی (بینام و حسنی) تحت پنج رژیم آبیاری در منطقه رشت در دو فصل زراعی ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ استفاده نمودند. با توجه به نتایج، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نسبی شبیه سازی عملکرد توسط مدل برای ارقام بینام و حسنی در سال ۱۳۸۲ به ترتیب برابر ۱۲/۵۷ و ۵/۰۱ درصد و در سال ۱۳۸۳ به ترتیب برابر ۷/۹۴ و ۱۳/۷۱ درصد بدست آمد. مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده بهره‌وری آب بر اساس مجموع آب مصرفی و بارش بسیار به هم نزدیک بود. به طور کلی یافته‌های تحقیق، کارایی مطلوب مدل WOFOST در شبیه سازی فرآیند رشد و تأثیر آب بر عملکرد و بهره‌وری آب برنج در مناطق مرطوب را تأیید می‌نماید. قرینه و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از مدل WOFOST به منطقه‌بندی استان خوزستان براساس عملکرد پتانسیل گندم آبی هر منطقه پرداختند. نتایج حاصل از ارزیابی مدل WOFOST نشان داد که این مدل مراحل مختلف رشد، نمو و عملکرد گندم را در شرایط آب و هوایی خوزستان به خوبی شبیه سازی نموده و می‌تواند به عنوان یک ابزار پژوهشی برای بررسی پتانسیل عملکرد گندم مورد استفاده قرار گیرد. همچنین، نتایج حاصل از پتانسیل عملکرد در مناطق مختلف استان نشان داد که پتانسیل عملکرد اقلیمی بین مناطق مختلف متفاوت است. (Boogaard *et al* (2013)

حاکمی از مطابقت نسبتاً خوب نتایج شبیه سازی مدل می‌باشد. امیری و همکاران (۱۳۹۰) مدل رشد گیاهی WOFOST را در شرایط مدیریت آبیاری بر گیاه برنج ارزیابی کردند. نتایج نشان داد، به طور متوسط مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای مدل برای ماده خشک کل بین ۳۸۹ تا ۵۵۳ کیلوگرم بر هکتار، ماده خشک پانیکول بین ۱۳۹ تا ۴۲۰ کیلوگرم بر هکتار و شاخص سطح برگ بین ۰/۴۶ تا ۰/۵۸ مترمربع سطح برگ در هر مترمربع سطح زمین بدست آمد، همچنین ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برای ماده خشک کل بین ۱۰ تا ۱۴ درصد، ماده خشک پانیکول بین ۷ تا ۱۶ درصد و شاخص سطح برگ بین ۵۴ تا ۸۳ درصد بدست آمد. مدل WOFOST مقدار شاخص سطح برگ را در این مطالعه بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده آن شبیه سازی نمود. این مدل برای شبیه سازی گیاه ذرت در چین (Yang *et al.*, 2004)، گندم در چین (Song *et al.*, 2006) و گندم در شمال ایتالیا (Marletto *et al.*, 2007) استفاده شد. Catalin *et al* (2009) سازگاری مدل WOFOST را برای شرایط رومانی بررسی کردند. نتایج این بررسی نشان داد که می‌توان از این مدل برای تحقیقات ویژه مثل بررسی تاثیر تغییرات آب و هوایی روی عملکرد استفاده کرد. در پژوهشی Confalonieri *et al* (2009) مدل WOFOST را با دو مدل CropSyst و WARM در شبیه سازی رشد برنج در ایتالیا مقایسه کردند. برای هر سه مورد مقادیر بازده مدل بزرگتر از ۰/۹ و ضریب

عامل دوم در نظر گرفته شدند. جهت آماده‌سازی زمین، ابتدا در فروردین ماه زمین کاملاً شخم خورده و سپس در اردیبهشت ماه، خاک مزرعه دیسک زده شده و بعد از ایجاد جوی پشته، کشت آغاز گردید. وارپته‌ی کشت شده‌ی بادام‌زمینی در این تحقیق از نوع NC₂ (رقم محلی گیل) انتخاب گردید. قبل از کشت نیز بذر در قارچ کش کربوکسین تیرام به نسبت دو در هزار ضد عفونی گردید. در طی عملیات داشت در سطح مزرعه، سه مرحله وجین برای کنترل علف‌های هرز و خاک دهی اطراف ریشه انجام گرفت. روش آبیاری استفاده شده در این تحقیق از نوع آبیاری سطحی و سیستم جوی و پشته بود، به طوری که فاصله بین دو پشته ۸۰ سانتی‌متر و فاصله بین گیاهان در پشته ۳۰ سانت متر در نظر گرفته شد. برای اندازه‌گیری مقدار آب آبیاری تحویلی به هر واحد آزمایشی از کنتور استفاده شد. اطلاعات مربوط به تاریخ کاشت و برداشت در جدول ۲ ارائه شده است. در هر پلات پس از حذف دو ردیف کشت از طرفین، ۱۲ گیاه به طور تصادفی انتخاب گردید. سپس غلاف‌ها، برگ‌ها و ساقه‌ها از گیاه جدا گشتند و در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت گذاشته شدند. بعد از خشک شدن، نمونه‌ها به وسیله ترازوی دقیق یک صدم توزین گردیدند. از مجموع وزن غلاف خشک (همراه با دانه)، وزن ساقه خشک و وزن برگ خشک، وزن عملکرد بیولوژیک و عملکرد دانه برحسب گرم به دست می‌آید. سپس به واحد کیلوگرم در هکتار تبدیل گردید.

در تحقیقی نقاط قوت و محدودیت‌های اجرای منطقه‌ای مدل گیاهی WOFOST را برای محاسبه اختلاف عملکرد گندم پاییزه در سراسر اتحادیه اروپا ارزیابی نمودند. نتایج نشان داد که اختلاف عملکرد تخمین زده شده در بخش‌های اصلی اتحادیه اروپا بین ۲ تا ۴ تن در هکتار است، کمترین مقدار در شمال غرب اروپا و بیشترین مقدار در پرتغال است. هدف از این مطالعه ارزیابی توانایی مدل WOFOST در شبیه‌سازی عملکرد بادام‌زمینی تحت تیمارهای مختلف آبیاری در شرق استان گیلان بود.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در سال‌های زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ در شرق استان گیلان و در شهرستان آستانه اشرفیه با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه، و طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه و با ارتفاع متوسط ۵- متر از سطح دریا، انجام شد. این منطقه از لحاظ آب و هوایی جزء مناطق معتدل و مرطوب می‌باشد. داده‌های هواشناسی دوره‌ی مورد مطالعه، از ایستگاه هواشناسی شهرستان آستانه اشرفیه دریافت شد. برخی خصوصیات خاک محل آزمایش به عنوان بخشی از اطلاعات ورودی مدل WOFOST در جدول ۱ ارائه شده است. در این تحقیق، آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار در زمین اجرا گردید. هر واحد آزمایشی دارای ابعاد ۵/۲ × ۶ متر و دارای ۷ ردیف کشت بود. عامل اول شامل مدیریت آبیاری با دوره‌های ۶، ۱۲ و ۱۸ روز و مقادیر ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ میلی‌متر به عنوان

جدول ۱- برخی خصوصیات خاک محل آزمایش

سال	جنس خاک	اعماق خاک (cm)	هدایت الکتریکی (ds/m)	درصد کربن آلی	درصد نیتروژن کل	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن
۹۰	لوم	۰-۲۰	۰/۶۲۱	۰/۶۹	۰/۰۸۲	۷/۰۶	۲۲۹	۲۰	۳۳	۵۰
	لوم	۲۰-۴۰	۰/۶۴۶	۰/۶۵	۰/۰۶۴	۳/۱۷	۱۸۱	۱۸	۳۲	۴۸
۹۱	لوم	۰-۲۰	۰/۶۳۲	۰/۶۸	۰/۰۹۸	۰/۰۷	۲۳۹	۱۹	۳۲	۴۹
	لوم	۲۰-۴۰	۰/۶۵۷	۰/۶۶	۰/۰۷۳	۲/۱۲	۱۹۲	۱۹	۳۲	۴۹

جدول ۲- اطلاعات مربوط به تاریخ کاشت و برداشت

سال	تاریخ کاشت	تاریخ جوانه زنی	تاریخ گل دهی	تاریخ برداشت یا رسیدگی کامل
۹۰	اول خرداد	۲۰ خرداد	۵ تیر	۱۵ شهریور
	۱۴۲	۱۶۱	۱۷۷	۲۴۹
۹۱	۳۰ اردیبهشت	۱۸ خرداد	اول تیر	۲۰ شهریور
	۱۴۰	۱۵۹	۱۷۳	۲۵۴

توصیف مدل WOFOST

در این تحقیق از نسخه ۷,۱,۲ مدل WOFOST که برای شبیه سازی سالانه محصولات در اروپا توسعه یافته بود، استفاده شد. مدل WOFOST یک مدل شبیه ساز رشد گیاه بر مبنای چرخه کربن بوده و دارای ساختاری پیچیده است. این مدل رشد گیاه را در سه وضعیت عدم وجود عامل محدود کننده، محدودیت آب و محدودیت مواد غذایی شبیه سازی می کند. در مدل WOFOST رشد محصولات بر اساس فرآیندهای اکوفیزیولوژیکی شبیه سازی می شود. فرآیندهای اصلی شامل توسعه فنولوژیکی، جذب دی اکسید کربن، تعرق، تنفس، تجزیه و توزیع میزان ماده خشک بین اندامهای مختلف بر اساس مرحله نمو صورت می گیرد. رشد در حالت پتانسیل و محدودیت آبی به صورت دینامیکی با گام زمانی یک

روزه شبیه سازی می شود (Boogaard et al., 1998). مدل WOFOST توسعه فنولوژیکی، شکل گیری و رشد گیاه را از آغاز جوانه زنی تا زمان رسیدن بر اساس خواص ژنتیکی محصول و شرایط محیطی شرح می دهد. این برنامه ماده خشک گیاه را بعنوان تابعی از تشعشع، دما و خصوصیت های گیاه در مراحل زمانی یک روز شبیه سازی می کند. اصول محاسبه تولید ماده خشک، میزان سرعت ناخالص جذب CO₂ توسط پوشش گیاهی است و به انرژی تابشی جذب شده بستگی دارد که تابعی از تشعشع روزانه، سطح برگ گیاه و ضریب خاموشی نور در پوشش گیاهی است. برای توصیف نمو فنولوژیکی گیاه در مدل WOFOST از متغیر مرحله توسعه گیاه (DVS) استفاده می شود که برای جوانه زنی (یا انتقال برای گیاهان نشایی مانند برنج)، گلدهی و برداشت به

فشار بخار، میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین و بارش) و خاک را انتخاب کند و مقادیر آن‌ها را ویرایش نماید (Boogaard *et al.*, 1998). در بخش مربوط به اطلاعات کلی کاربر می‌تواند رشد گیاه را تحت یکی از شرایط عدم وجود عامل محدود کننده، محدودیت آب و یا محدودیت مواد غذایی شبیه‌سازی کند. وقتی که کاربر وضعیت عدم وجود عامل محدود کننده و یا محدودیت آب را انتخاب کند، نیازی به وارد کردن اطلاعات مواد غذایی نیست. وقتی که وضعیت رشد گیاه تحت شرایط محدودیت آب انتخاب شود، کاربر می‌تواند، تاریخ شروع بیلان آب را برای شبیه‌سازی بیلان آب مشخص کند. در قسمت نتایج اجرای مدل، نتایج رشد گیاه تحت شرایط پتانسیل، محدودیت آب، محدودیت مواد غذایی و شبیه‌سازی بیلان آب در دسترس کاربر قرار می‌گیرد. در بخش مربوط به بیلان آب، نتایج شبیه‌سازی بیلان آب در کل سیستم و در منطقه ریشه وجود دارد.

معیارهای ارزیابی مدل

در ارزیابی گرافیکی مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده‌ی پارامترها از ضریب تبیین (R^2) استفاده گردید. بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و با استفاده از معیارهای خطای نسبی (E_r)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (RMSEn) و آزمون T ارزیابی آماری مدل انجام گرفت (Pirmoradian &

ترتیب مقادیر ۰، ۱ و ۲ در نظر می‌گیرد که تابعی از درجه روز است (Van Keulen, 1986). این مدل از یک معادله ساده برای تخمین میزان جذب و میزان رشد گیاه در شرایط آب مازاد یا کمبود آب استفاده می‌کند (Todorovic *et al.*, 2009):

$$A = \frac{T_a}{T_p} A_p \quad (1)$$

که در این معادله A میزان جذب واقعی، A_p میزان جذب پتانسیل، T_a میزان تعرق واقعی و T_p میزان تعرق پتانسیل است.

همچنین میزان رشد در این مدل از طریق معادله زیر محاسبه می‌شود (Todorovic *et al.*, 2009):

$$\Delta W = C_e \times (A - R_m) \quad (2)$$

که در آن ΔW : نرخ رشد، C_e : بازده تبدیل مواد فتوسنتزی، R_m : شدت تنفس و A: نرخ جذب ناخالص هستند.

پارامترهای ورودی و خروجی مدل WOFOST

اطلاعات ورودی مورد نیاز برای اجرای

مدل WOFOST

در چندین بخش (اطلاعات کلی، گیاه، هواشناسی، خاک، مواد غذایی و اجرای مجدد) توصیف می‌شوند. در این بخش‌ها کاربر می‌تواند فایل‌های گیاه، هواشناسی (تشعشع خورشید، حداقل و حداکثر دما،

مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده ی عملکرد در سال ۱۳۹۰ بین ۸- تا ۲۲ درصد و در سال ۱۳۹۱ بین ۳۰- تا ۷ درصد است. همچنین به طور متوسط مقدار خطای نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده ی عملکرد در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ به ترتیب ۵ و ۹- درصد بدست آمد. برای ماده خشک نیز، مقدار خطای نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده ی ماده خشک در سال ۱۳۹۰ بین ۲۱- تا ۴۷ درصد و در سال ۱۳۹۱ بین ۲۱- تا ۲۲ درصد است. همچنین به طور متوسط، مقدار خطای نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده ی ماده خشک در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ به ترتیب ۱۰- و ۳ درصد بدست آمد. با توجه به جدول فوق، عملکرد سال ۱۳۹۰ با ریشه میانگین مربعات خطای برابر با ۰/۲۰۵ تن بر هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برابر با ۱۰ درصد نسبت به سال ۱۳۹۱ با ریشه میانگین مربعات خطای برابر با ۰/۲۶۴ تن بر هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برابر با ۱۵ درصد تطابق بهتری بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده ی آن وجود دارد. اما در مورد ماده خشک سال ۱۳۹۱ با ریشه میانگین مربعات خطای برابر با ۰/۷۹۸ تن بر هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برابر با ۱۲ درصد نسبت به سال ۱۳۹۰ با ریشه میانگین مربعات خطای برابر با ۱/۰۷۵ تن بر هکتار و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برابر با ۱۵/۲ درصد، تطابق بهتری بین مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده ی آن وجود دارد. همچنین با توجه به

(Sepaskhah, 2006). مقادیر Er ، $RMSE$ و $RMSEn$ هر چه به صفر نزدیکتر باشند، نشان دهنده ی این مطلب است که مدل شبیه سازی را بهتر انجام داده است. چنانچه مقدار نتیجه آزمون T بیشتر از ۰/۰۵ باشد بدان مفهوم است که مقادیر شبیه سازی پارامتر در سطح احتمال ۹۵ درصد شبیه اندازه واقعی پارامتر می باشد.

$$Er = \frac{0-s}{0} \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \quad (4)$$

$$RMSEn = [1/n \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2]^{0.5} \left(\frac{100}{MO}\right) \quad (5)$$

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

نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل

با تغییر ضرایب واسنجی مدل و بر اساس بهترین تطابق نتایج خروجی، ضرایب واسنجی به صورت مقادیر گزارش شده در جدول ۳ بدست آمد.

نتایج ارزیابی مدل

نتایج پارامترهای آماری مربوط به عملکرد و ماده خشک که برای ارزیابی مدل WOFOST استفاده شده اند، در جداول ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود مقدار خطای نسبی بین

خشک کل در مدل‌های SWAP, ORYZA2000 و WOFOST را به ترتیب بین ۱۴ تا ۲۴ درصد، ۱۳ تا ۲۱ درصد و ۱۰ تا ۱۴ درصد گزارش کردند. در تحقیقات سعادت‌ی و همکاران (۱۳۹۱) برای ارزیابی مدل WOFOST جهت شبیه‌سازی پاسخ عملکرد دو رقم برنج محلی (بینام و حسنی) تحت پنج رژیم آبیاری در منطقه رشت، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نسبی شبیه‌سازی عملکرد توسط مدل برای ارقام بینام و حسنی در سال ۱۳۸۲ به ترتیب برابر ۱۲/۵۷ و ۵/۰۱ درصد و در سال ۱۳۸۳ به ترتیب برابر ۷/۹۴ و ۱۳/۷۱ درصد بدست آمد. مقایسه‌ی این نتایج با مقادیر بدست آمده در این پژوهش برای بادام‌زمینی نشان می‌دهد که مدل WOFOST توانسته عملکرد و ماده خشک بادام‌زمینی در منطقه مورد مطالعه را نیز به خوبی شبیه‌سازی نماید. مقایسه مقادیر عملکرد مشاهده شده و مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی آن توسط مدل WOFOST در تیمارهای مختلف آبیاری برای سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ با خط یک به یک در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱ مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده در اکثر تیمارها برای سال ۱۳۹۱ کمتر از مقدار مشاهده شده بوده است.

جدول ۶، از مقایسه پارامترهای آماری بین عملکرد و ماده خشک می‌توان نتیجه گرفت که در هر دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱، عملکرد نسبت به ماده خشک تطابق بهتری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده‌ی آن وجود دارد. در تحقیقات (Eitzinger et al (2004 بر روی شبیه‌سازی رشد و نمو جو و گندم در شرایط لایسیمتری برای سه نوع خاک در منطقه‌ای واقع در اتریش با استفاده از سه مدل SWAP, CERES و WOFOST، مقدار خطا بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده‌ی عملکرد در مدل WOFOST برای گیاه جو برای سه نوع خاک بین ۳۸/۵- تا ۷۲/۷- درصد و برای گیاه گندم بین ۵۵/۳- تا ۱۶/۷ درصد بدست آمد. در تحقیقات امیری و همکاران (۱۳۹۰) در رابطه با ارزیابی مدل رشد گیاهی WOFOST در شرایط مدیریت آبیاری بر روی گیاه برنج، مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برای تخمین ماده خشک کل بین ۱۰ تا ۱۴ درصد، ماده خشک پانیکول بین ۷ تا ۱۶ درصد و شاخص سطح برگ بین ۵۴ تا ۸۳ درصد بدست آمد. در تحقیقی امیری و همکاران (۱۳۸۸) مدل‌های گیاهی ORYZA2000, SWAP و WOFOST را در مدیریت‌های مختلف آبیاری بر روی گیاه برنج ارزیابی کردند و مقادیر ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برای تخمین ماده

جدول ۳- پارامترهای گیاهی استفاده شده در مدل WOFOST برای شبیه سازی عملکرد بادام زمینی

پارامتر	مقدار	واحد	پارامتر	مقدار	واحد
درجه سانتی گراد روز از جوانه زنی تا گلدهی	۳۹۰	°C-days		۰/۵; ۰	kg kg ⁻¹
درجه سانتی گراد روز از گلدهی تا رسیدگی فیزیولوژیکی	۹۷۰	°C-days	کسر ماده خشک هوایی به برگها به صورت تابعی از مراحل توسعه گیاه	۰/۵; ۱	kg kg ⁻¹
مرحله توسعه گیاه در شروع شبیه سازی	۰	-		۰/۵; ۱/۱	kg kg ⁻¹
مرحله توسعه گیاه در برداشت	۲	-		۰/۳۴; ۱/۳	kg kg ⁻¹
شاخص سطح برگ در جوانه زنی	۰/۰۲۸۸	ha ha ⁻¹		۰/۱; ۱/۶	kg kg ⁻¹
بازده مصرف نور توسط تک برگ به صورت تابعی از میانگین روزانه دما	۰/۵۸; ۰	kg ha ⁻¹ h ⁻¹ J ⁻¹ m ² s		۰/۱; ۱/۷ ۰/۱; ۲	kg kg ⁻¹
حداکثر سرعت جذب CO ₂ در برگها به صورت تابعی از مراحل توسعه گیاه	۵۵; ۰ ۵۵; ۱/۶	kg ha ⁻¹ h ⁻¹	کسر ماده خشک هوایی به ساقه ها به صورت تابعی از مراحل توسعه گیاه	۰/۵; ۰ ۰/۵; ۱	kg kg ⁻¹
ضریب کاهنده AMAX به عنوان تابعی از دمای میانگین	۰; ۰ ۰; ۷	°C; -	گیاه	۰/۴; ۱/۱ ۰/۵۶; ۱/۳ ۰/۳۲; ۱/۶ ۰/۱۵; ۱/۷ ۰/۱۵; ۲	kg kg ⁻¹
کسر کل ماده خشک به ریشه به صورت تابعی از مراحل توسعه گیاه	۱; ۲۰ ۱; ۳۰ ۰/۷۸; ۴۵ ۰/۲; ۰	kg kg ⁻¹	کسر ماده خشک هوایی به اندام های ذخیره به صورت تابعی از مراحل توسعه گیاه	۰; ۰ ۰; ۱ ۰/۱; ۱/۱ ۰/۱; ۱/۳ ۰/۵۸; ۱/۶ ۰/۷۵; ۱/۷ ۰/۷۵; ۲	kg kg ⁻¹
عمق اولیه ریشه	۰/۰۸; ۰/۲	cm		۱۰	cm
حداکثر افزایش روزانه در عمق ریشه	۰; ۱	cmday ⁻¹		۱/۲	cmday ⁻¹
حداکثر عمق ریشه	۰; ۲	cm		۸۰	cm

به یک در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل فوق مقادیر ماده خشک شبیه سازی شده در اکثر تیمارها برای سال ۱۳۹۰ کمتر از مقدار مشاهده شده بوده است. تجزیه و تحلیل های آماری از طریق آزمون T برای مقایسه ی مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده ی ماده خشک نشان داد که در سطح احتمال ۵ درصد بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده ی ماده خشک در مدل WOFOST اختلاف معنی داری

تجزیه و تحلیل های آماری از طریق آزمون T برای مقایسه ی مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده ی عملکرد نشان داد که در سطح احتمال ۵ درصد بین مقادیر مشاهده شده و شبیه سازی شده ی عملکرد در مدل WOFOST اختلاف معنی داری وجود ندارد. مقایسه مقادیر ماده خشک مشاهده شده و مقادیر شبیه سازی شده ی آن توسط مدل WOFOST در تیمارهای مختلف آبیاری برای سال های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ با خط یک

می‌توان نتیجه گرفت که مدل توانسته عملکرد را نسبت به ماده خشک بهتر شبیه‌سازی نماید. مقایسه‌ی مقدار عملکرد و ماده خشک شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در تیمارهای مختلف آبیاری در شکل ۳ ارائه شده است.

وجود ندارد. با توجه به شکل ۱ و ۲، ضریب تبیین مربوط به عملکرد در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ به ترتیب برابر با ۰/۹۷ و ۰/۹۲ و ضریب تبیین مربوط به ماده خشک در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ به ترتیب برابر با ۰/۹۴ و ۰/۸۱ بدست آمد که

جدول ۴- مقادیر عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده و درصد خطای نسبی شبیه‌سازی گیاه بادام زمینی توسط مدل WOFOST

تیمار	مقدار (میلی‌متر)	۱۳۹۰			۱۳۹۱		
		مشاهده شده (کیلوگرم بر هکتار)	شبیه‌سازی شده (کیلوگرم بر هکتار)	خطای نسبی (درصد)	مشاهده شده (کیلوگرم بر هکتار)	شبیه‌سازی شده (کیلوگرم بر هکتار)	خطای نسبی (درصد)
روز ۶	۱۰	۱۵۸۳	۱۸۸۷	۱۹	۱۶۰۷	۱۱۲۴	-۳۰
روز ۶	۲۰	۳۲۰۴	۳۰۲۵	-۶	۲۲۶۲	۱۹۲۰	-۱۵
روز ۶	۳۰	۳۶۵۳	۳۸۹۷	۷	۲۹۵۶	۲۴۹۸	-۱۵
روز ۶	۴۰	۴۲۲۷	۴۲۱۸	۰	۲۸۵۳	۳۰۶۲	۷
روز ۱۲	۱۰	۱۰۲۴	۹۴۰	-۸	۱۰۳۴	۹۴۷	-۸
روز ۱۲	۲۰	۱۳۶۰	۱۲۸۰	-۶	۱۵۰۵	۱۴۸۹	-۱
روز ۱۲	۳۰	۱۶۸۶	۱۸۰۲	۷	۱۹۱۶	۲۰۲۵	۶
روز ۱۲	۴۰	۱۹۲۷/۳	۲۱۷۲	۱۳	۲۶۶۶	۲۴۳۸	-۹
روز ۱۸	۱۰	۱۰۰۳	۱۰۳۶	۳	۱۰۷۷	۷۷۳	-۲۸
روز ۱۸	۲۰	۱۳۳۷	۱۳۴۵	۱	۱۲۰۸	۱۰۰۴	-۱۷
روز ۱۸	۳۰	۱۶۹۴	۱۹۰۴	۱۲	۱۲۷۲	۱۱۶۲	-۹
روز ۱۸	۴۰	۱۹۵۰	۲۳۸۵	۲۲	۱۳۰۶	۱۱۹۲	-۹
متوسط		۲۰۵۴	۲۱۵۸	۵	۱۸۰۵	۱۶۳۶	-۹

جدول ۵- مقادیر ماده خشک کل شبیه سازی شده و مشاهده شده و درصد خطای نسبی شبیه سازی گیاه بادام
زمینی توسط مدل WOFOST

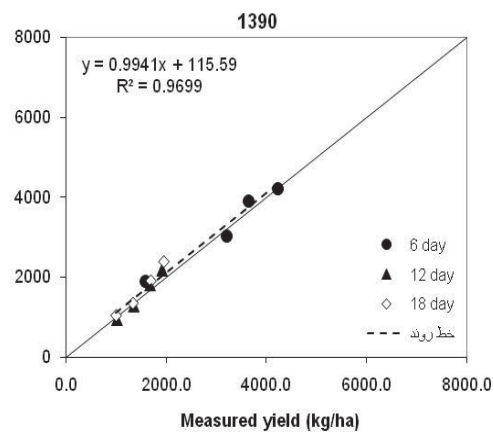
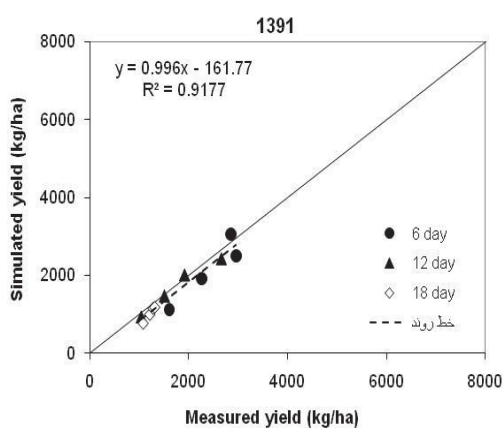
۱۳۹۰		۱۳۹۱							
تیمار	مقدار (میلی متر)	مشاهده شده (کیلوگرم بر هکتار)	شبیه سازی شده (کیلوگرم بر هکتار)	خطای نسبی (درصد)	مقدار (میلی متر)	مشاهده شده (کیلوگرم بر هکتار)	شبیه سازی شده (کیلوگرم بر هکتار)	خطای نسبی (درصد)	تیمار
روز ۶	۱۰	۶۱۷۰	۵۱۳۴	-۱۷	۶۹۵۱	۵۴۷۸	۶۹۵۱	-۲۱	روز ۶
روز ۶	۲۰	۸۹۶۶	۸۶۷۰	-۳	۸۱۷۷	۷۷۵۰	۸۱۷۷	-۵	روز ۶
روز ۶	۳۰	۱۱۰۸۳	۱۱۳۲۵	۲	۹۱۹۳	۸۸۴۱	۹۱۹۳	-۴	روز ۶
روز ۶	۴۰	۱۲۶۶۳	۱۲۴۲۴	-۲	۹۵۹۳	۹۸۴۹	۹۵۹۳	۳	روز ۶
روز ۱۲	۱۰	۵۲۳۸	۲۷۵۸	-۴۷	۴۱۶۱	۴۷۶۷	۴۱۶۱	۱۵	روز ۱۲
روز ۱۲	۲۰	۵۶۴۶	۴۳۸۷	-۲۲	۵۵۹۳	۶۴۸۳	۵۵۹۳	۱۶	روز ۱۲
روز ۱۲	۳۰	۶۷۶۹	۶۰۰۱	-۱۱	۶۸۱۱	۷۹۳۶	۶۸۱۱	۱۷	روز ۱۲
روز ۱۲	۴۰	۸۰۳۳	۷۱۴۸	-۱۱	۷۲۵۳	۸۸۲۹	۷۲۵۳	۲۲	روز ۱۲
روز ۱۸	۱۰	۴۳۷۴	۲۸۷۴	-۳۴	۴۱۷۶	۴۳۶۲	۴۱۷۶	۴	روز ۱۸
روز ۱۸	۲۰	۴۸۳۹	۳۹۰۶	-۱۹	۵۰۱۳	۵۳۳۳	۵۰۱۳	۶	روز ۱۸
روز ۱۸	۳۰	۵۲۲۴	۵۱۸۰	-۱	۶۱۵۳	۵۹۳۷	۶۱۵۳	-۴	روز ۱۸
روز ۱۸	۴۰	۵۶۳۴	۶۲۴۳	۱۱	۶۰۹۲	۶۰۵۳	۶۰۹۲	-۱	روز ۱۸
متوسط	-	۷۰۵۳	۶۳۳۸	-۱۰	۶۵۹۷	۶۸۰۲	۶۵۹۷	۳	متوسط

شکل ۳ ارائه شده است. نتایج نشان می دهد که در سال ۹۰ و ۹۱ به ترتیب تیمار آبیاری با دور آبیاری ۱۲ روز و مقدار ۱۰ میلی متر و تیمار آبیاری با دور آبیاری ۱۸ روز و مقدار ۱۰ میلی متر دارای کمترین مقدار عملکرد و ماده خشک شبیه سازی شده هستند.

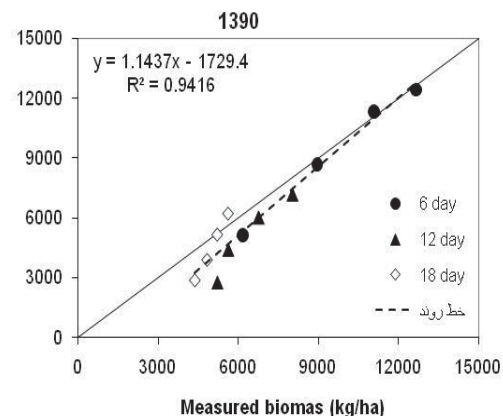
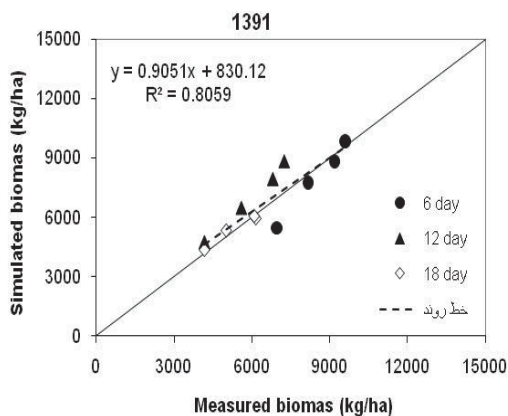
نتایج نشان می دهد که در سال ۹۰ و ۹۱ به ترتیب تیمار آبیاری با دور آبیاری ۱۲ روز و مقدار ۱۰ میلی متر و تیمار آبیاری با دور آبیاری ۱۸ روز و مقدار ۱۰ میلی متر دارای کمترین مقدار عملکرد و ماده خشک شبیه سازی شده هستند. مقایسه ی مقدار عملکرد و ماده خشک شبیه سازی شده و مشاهده شده در تیمارهای مختلف آبیاری در

جدول ۶. مقادیر (RMSE)، (RMSEn) و (T-test) برای نتایج شبیه‌سازی عملکرد و ماده خشک

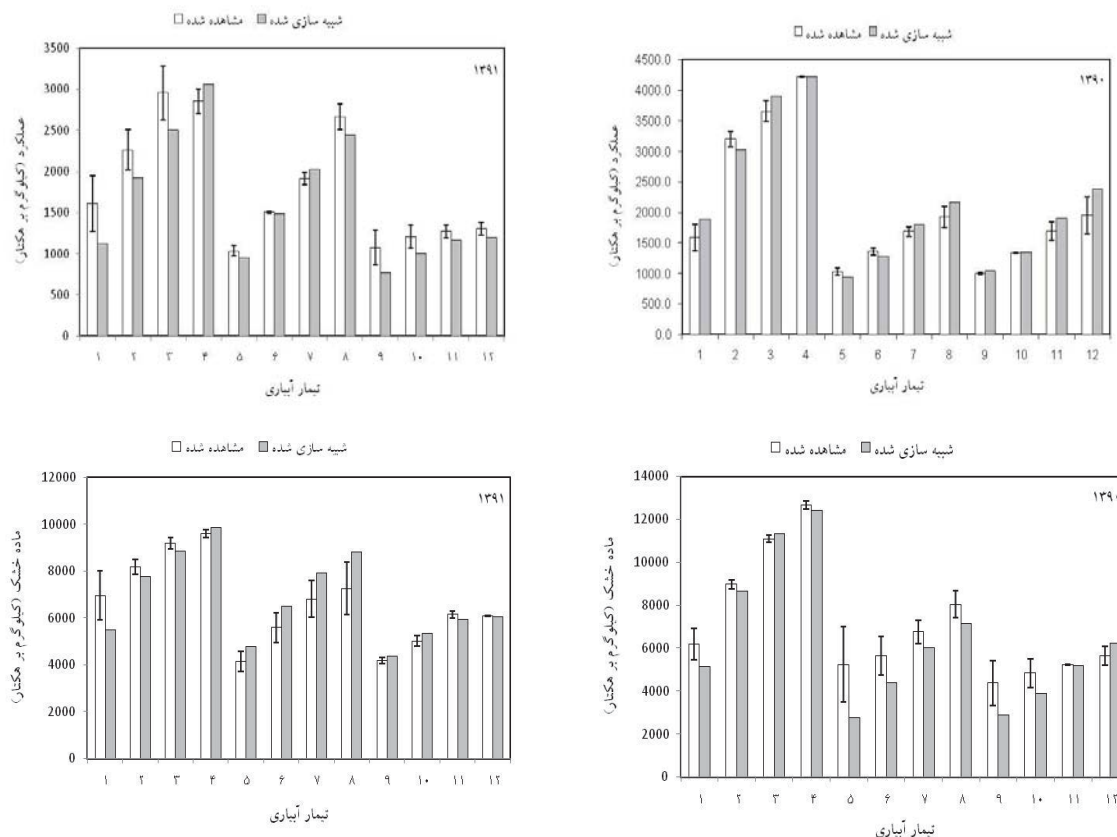
۱۳۹۱			۱۳۹۰			
T test	RMSEn (%)	RMSE (tha ⁻¹)	T test	RMSEn (%)	RMSE (tha ⁻¹)	
۰/۲۹	۱۵	۰/۲۶۴	۰/۴۱	۱۰	۰/۲۰۵	عملکرد
۰/۳۹	۱۲	۰/۷۹۸	۰/۲۷	۱۵/۳	۱/۰۷۵	ماده خشک



شکل ۱- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده عملکرد بادام زمینی



شکل ۲- مقایسه مقادیر شبیه سازی شده و مشاهده شده ماده خشک بادام زمینی



شکل ۳- مقایسه مقادیر عملکرد شبیه‌سازی شده، مشاهده شده و ماده خشک در تیمارهای مختلف آبیاری (± انحراف معیار)

ماده خشک تطابق بهتری بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده آن وجود دارد. به طور کلی یافته‌های تحقیق، کارایی مطلوب مدل WOFOST در شبیه‌سازی فرآیند رشد و تأثیر آب بر عملکرد بادام‌زمینی در منطقه مورد مطالعه را تایید می‌نماید.

منابع

امیری، ا.، م. رضایی، م.ک. معتمد، و س. امامی.، ۱۳۹۰. ارزیابی مدل رشد گیاهی WOFOST در شرایط مدیریت آبیاری. نشریه زراعت (پژوهش و سازندگی). ۹۰: ۹-۱۷.

نتیجه‌گیری

مدل‌های شبیه‌ساز گیاهی می‌توانند به عنوان ابزار تصمیم‌گیری برای مدیریت سیستم مورد استفاده قرار گیرند. بر اساس نتایج حاصل از آزمون T، بین مقادیر عملکرد و ماده خشک شبیه‌سازی شده توسط مدل WOFOST و مقادیر مشاهده شده عملکرد و ماده خشک، از نظر آماری اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. نتایج نشان داد که در سال ۹۰ و ۹۱ به ترتیب با دور آبیاری ۱۲ روز و مقدار ۱۰ میلی‌متر و تیمار آبیاری با دور آبیاری ۱۸ روز و مقدار ۱۰ میلی‌متر دارای کمترین مقدار عملکرد و ماده خشک شبیه‌سازی شده هستند. همچنین از مقایسه پارامترهای آماری بین عملکرد و ماده خشک می‌توان نتیجه گرفت که در هر دو سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱، عملکرد نسبت به

- Boogaard, H. L., C.A. Diepen, R.P. Van Rötter, J.M.C.A. Cabrera, and H. H. Van Laar.** 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.
- Boogaard, H. L., C.A. Van Diepen, H. Eerens, P. Kempeneers, I. Piccard, Y. Verheijen, and I. Supit.** 2002. Description of the MARS Crop Yield Forecasting System (MCYFS). ETAMP (Methodology Assessment of MARS Predictions) Report 1/3, Alterra, Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoek (VITO), Supit Consultancy, Wageningen, Mol, Houten.
- Boogaard, H., J. Wolf, I. Supit, S. Niemeyer, and M. Van Ittersum.** 2013. A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union. *Field Crops Research*. 143: 130–142.
- Bouman, B.A.M., H. Van Keulen, H.H. Van Laar, and R. Rabbinge.** 1996. The "School of de Wit", crop growth simulation models: pedigree and historical overview. *Agric. Sys.* 52: 171-198.
- Confalonieri, R., M. Acutis, G. Bellocchio, and M. Donatelli.** 2009. Multi-metric evaluation of the models WARM, CropSyst, and WOFOST for rice. *Ecol. Model.* 220: 1395-1410.
- CWFS.** 1985. Potential food production increases from fertilizer aid: a case study of Burkina Faso, Ghana and Kenya. CWFS, Wageningen.
- Eitzinger, J., M. Trnka, J. Hosch, Z. Zalud, and M. Dubrovsk.** 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecol. Model.* 171: 223-246.
- Farahani, H. J., G. Izzi, and T.Y. Oweis.** 2009. Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigated Cotton. *Agron. J.* 101: 469–476.
- امیری، ا.، م کاوسی، و ف. کاوه. ۱۳۸۸. ارزیابی مدل‌های گیاهی SWAP. ORYZA2000 و WOFOST در مدیریت‌های مختلف آبیاری. *مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی*. ۱۰(۳): ۲۸-۱۳.
- بافکار، ع.، س. برومندنسب، م. بهزاد، و ب. فرهادی بانسوله. ۱۳۹۰. پیش‌بینی پتانسیل تولید ذرت دانه‌ای رقم CV۰۴ در منطقه ماهیدشت کرمانشاه با استفاده از مدل شبیه‌سازی رشد محصول WOFOST. *مجله علوم گیاهان زراعی ایران*. ۴۲(۴): ۸۰۸-۷۹۹.
- حسین‌زاده گشتی، ع. ۱۳۸۵. بررسی اثرات مصرف گچ و سوپر فسفات ساده بر رشد، عملکرد، اجزای عملکرد و شاخص‌های رشد بادام زمینی. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشکده کشاورزی دانشگاه گیلان. ۱۲۳ ص.
- سعادت‌تی، ز.، ن. پیرمردیان، ا. امیری، و م. رضایی. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل WOFOST در شبیه‌سازی عملکرد دو رقم برنج تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. *مجله پژوهش آب در کشاورزی*. ۲۶(۳): ۳۳۷-۳۲۳.
- قرینه، م.، ح.، ع. ا. بخشنده، ب. اندرزبان و ن. فایضی‌زاده. ۱۳۹۱. منطقه‌بندی آگروکلیماتیکی استان خوزستان برای پتانسیل عملکرد گندم آبی با استفاده از مدل WOFOST. *نشریه بوم‌شناسی کشاورزی*. ۴(۳): ۲۶۴-۲۵۵.

- Steduto, P., T.C. Hsiao, D. Raes, and E. Fereres.** 2009. The FAO crop model to simulate yield response to water: I. concepts and underlying principles. *Agron. J.* 101: 426–437.
- Todorovic, M., R. Albrizio, L. Zivotic, M. Abi Saab, C. Stöckle, and P. Steduto.** 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST Models in the Simulation of Sunflower Growth under Different Water Regimes. *Agron. J.* 101: 509–521.
- Van Ittersum, M.K., P.A. Leffelaar, H. Van Keulen, M.J. Kropff, L. Bastiaans, and J. Goudriaan.** 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *Eur. J. Agron.* 18: 201–234.
- Van Keulen, H.** 1986. The collection and treatment of basic data. Plant data. In: Van Keulen and Wolf. 1986. 235-247.
- Van Keulen, H. and C.A. Van Diepen.** 1990. Crop growth models and agroecological characterization. In: Scaife, A: Proceedings of the first congress of the European Society of Agronomy, 5-7 December 1990, Paris. CEC, ESA, INRA. Session 2: 1-16. Paris.
- Wolf, J. and C.A. Van Diepen.** 1994. Effects of climate change on silage maize production potential in the European Community. *Agric. Forest Meteorol.* 71, 1/2: 33-60.
- Wolf, J., J.A.A. Berkhout, C.A. Van Diepen, and C.H. Van 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. 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.
- Yang, H. S., A. Dobermann, J.L. Lindquist, D.T. Wolters, T.J. Arkebauer, and K.G. Cassman.** 2004. Hybrid-maize A maize simulation model that combines two crop
- Huygen, J.** 1990. Simulation studies on the limitations to maize production in Zambia. Report 27. DLO Winand Staring Centre, Wageningen.
- Lakkineni, K.C. and Y.P. Abrol.** 1995. Effect of sulphur fertilization on rapeseedmustard and ground nut. *Soil and Fertilizers Abst.* 58 (2): 244-253.
- Marletto, V., F. Ventura, G. Fontana, and F. Tomei.** 2007. Wheat growth simulation and yield prediction with seasonal forecasts and a numerical model. *Agric. Meteorol.* 147: 71–79.
- Pirmoradian, N. and A.R. Sepaskhah.** 2006. A Very Simple Model for Yield Prediction of Rice under Different Water and Nitrogen Applications. *Biosystems Engineering.* 93(1): 25–34.
- Rabbinge, R. and H.C. Van Latesteijn.** 1992. Long-term options for land use in the European Community. *Agric. Sys.* 40:195-210.
- 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. Sys.* 53: 41-68.
- Soltani, A., H. Meinke, and P. de Voil.** 2004a. Assessing linear interpolation to generate daily radiation and temperature data for use in crop simulations. *Eur. J. Agron.* 21: 133-148.
- Soltani, A. and G. Hoogenboom.** 2007. Assessing crop management options with crop simulation models based on generated weather data. *Field Crop Res.* 103: 198-207.
- Soltani, A., M.J. Robertson, Y. Mohammad-Nejad, and A. Rahemi-Karizaki.** 2006a. Modeling chickpea growth and development: leaf production and senescence. *Field Crops Res.* 99: 14-23.
- Song, Y.I., D.L. Chen, and W.J. Dong.** 2006. Influence of climate on winter wheat productivity in different climate regions of China, 1961–2000. *Clim. Res.* 32: 219–227.

- Ram, P. and R. N. Prasad.** 1985. Efficiency of time of potassium application in wetland rice on Haplaquent of Meghalaya. *Indian Journal of Agricultural sciences.* 55: 338-341.
- Richards, R.A.** 2000. Slectabble traits to increase crop photosynthesis and yield of grain crop. *Journal of Experimental Botany,* 51: 447-458.
- Shanahan, J. F., D. H. Smith, and J. R. Welsh.** 1984. An analysis of Post- anthesis sink limited winter wheat grain under various environments *Agron . J.* 76: 611-615.
- Sleper, D.A. and J.M. Poehlman.** 2006. *Breeding Field Crops.* 6th edition. Van Nostrand Reinhold Company. New York, 724p.
- Uexkull, H. R. V.** 1975. Response of HYN rice to potassium. Results of long-term fertilizer trials in the philippinies. *Potash Review,* 9/30: 11, 8 pp.
- Wardlaw, Lan F.**1980. Translocation and source-sink relationships. pp: 297-333. In *The biology of crop productivity.* Academic prees. New york.
- modeling approaches. *Field Crops Res.* 87: 131-154.
- He, C. L., M. Z. Liu and H. Jiang, and M. Lian.** 1992. Study of a high yield model of a rice hybrid Weiyou 7. *Fujian Agricultural Science and Technology.* 5: 2-4.
- Ma, Y. Z., C. T. Mackown, and D. A. Van Sanford.** 1990. Sink manipulation in wheat, componsatory changes in kernel size. *Crop Sci.* Vol. 30: 1099- 1105.
- Manzoor, Z., T.H. Awan, E. Safdar, R.I. Ali, M.M. Ashraf, and M. Ahmad.** 2006. effect of nitrogen levels on yield and yield components of Basmati 2000. *Journal of Agricultural Research.* 44: 2. 115-122.
- Peng, S., R. J. Buresh, J. Huang, J. Yang, Y. Zou, X. Zhong, G. Wang and F. Zhang.** 2006. Strategies for overcoming low agronomic nitrogen use efficiency in irrigated rice systems in China. *Field Crops Research.* 96(1): 37-47.
- Rahimian, H., A. Koocheki, and A. Zand.** 1999. *Evolution, Adaptation and Crop Yields.* Agriculture Training, 435p.

Evaluation of WOFOST model in simulation of Peanut yield under different irrigation regimes

E. Amiri¹, A. Abdzad Gohari^{2*}, Z. Saadati³

1-Department of Agronomy and Crop Breeding, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

2-Young Researchers and Elite Club, Islamshahr Branch, Islamic Azad University, Islamshahr, Iran.

3- Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, Zabol University, Zabol, Iran.

Abstract

Simulator models that quantitatively simulate the effects of different amounts of water on crop yield are useful tools in farm-level water management and optimizing water use efficiency. In this study, WOFOST model was used to simulate peanut yield response under irrigation management with 6, 12 and 18 days intervals and 10, 20, 30 and 40 mm values as a second factor in a region located east of Guilan province in 2011 and 2012 were used. According to the results, the root mean square error of simulation error of dry matter yield and dry matter by WOFOST model in 2011 was 0.205 and 1.075 ton. ha⁻¹ respectively and in 2012 was 0.264 and 0.798 ton. ha⁻¹ respectively. Also, the root mean square error of relative error of simulation of yield and dry matter in 2010 were 10% and 15.2% and in 2012 and 15% and 12%, respectively. In general, the results of this study indicate that the model simulation results are in good agreement. The results also showed that in 2011 and 2012 in irrigation treatment with 12 day intervals and 10 mm respectively and irrigation treatment with 18 day intervals and 10 mm irrigation treatments had the lowest yield and simulated dry matter, respectively. Comparison of statistical parameters between yield and dry matter can conclude that in 2011 and 2012, yield is better than dry matter in comparison with simulated and observed values. Therefore, the WOFOST model's optimal performance in simulating the growth process and the impact of water on peanut yield in the study area confirms.

Key words: Irrigation interval, Model, Peanut, Yield.

* Corresponding author (abdzadgohari_a@yahoo.com)