

بررسی ضرایب ورودی گیاهی مدل WOFOST در شرایط کم آبیاری بخشی ریشه برای گیاه آفتابگردان

سیده فاطمه هاشمی^۱ - علی شاهنظری^{۲*} - محمود رایینی^۳ - علی قدمی فیروز آبادی^۴ - ابراهیم امیری^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۱

چکیده

پژوهش‌هایی که تاکنون در پیوند با مدل WOFOST منتشر شده است، به روش‌های سنتی کم آبیاری معطوف بوده که یا به صورت درصد کم آبیاری در شرایط بهینه لحاظ می‌شده یا بر اساس بررسی شرایط رشد در روزهای معینی پس از آبیاری است. همچنین بررسی این پژوهش‌ها نشان می‌دهد با وجودی که گیاهان یکساله زیادی مبنای بررسی‌ها بوده‌اند، اما هیچ کدام شامل گیاه آفتابگردان نبوده است. لذا در این پژوهش آخرین نسخه مدل WOFOST در برآورد ضرایب گیاهی برای هر تیمار شبیه‌سازی واکنش آفتابگردان در طی دو سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در شرایط کم آبیاری بخشی ریشه و خشکی ریشه در دو سطح ۵۵ و ۷۵ درصد در مقایسه با شرایط آبیاری کامل مورد بررسی قرار گرفت. ضریب‌های به دست آمده مبنایی برای محاسبات میزان بهره‌وری مصرف آب در مزرعه پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری می‌باشد. نتایج حاصل از واسنجی نشان داد که ضرایب گیاهی وابسته به شرایط آب و هوایی، طول و عرض جغرافیایی منطقه و خصوصیات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه برای یک گیاه خاص در طول شبیه‌سازی ثابت مانده و ضرایب آبیاری وابسته به نوع تیمارهای آبیاری بوده و رفتار آنها در طول دوره رشد توانایی تغییر دارد. همچنین نتایج نشان داد که با کاهش حجم آب داده شده به گیاه، ضریب بیشینه آهنگ جذب دی‌اکسیدکربن در برگ و ضریب خاموشی کاهش و برعکس ضریب کارایی مصرف نور افزایش یافت. همچنین ارزیابی تمامی پارامترهای مورد بررسی بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای نشان می‌دهد که شاخص ریشه میانگین مربعات خطای نسبی (nRSME) عملکرد دانه و زیست توده کل در هر دو رقم مورد بررسی کمتر از ۱۰ درصد، شاخص ضریب جرم باقی مانده‌ها (CRM) نزدیک به صفر، ضریب کارایی مدل (EF) ۰/۸۹ و ضریب همستگی (R) ۰/۹۶ بدست آمده و مدل به خوبی توانسته است با استفاده از ضرایب واسنجی شده، پاسخ گیاه آفتابگردان را در تیمارهای کم آبیاری شبیه‌سازی کند.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری مصرف آب، بیوماس، ضریب خاموشی، عملکرد دانه، مدل شبیه‌سازی رشد

مقدمه

مدیریت کشاورزی شبیه‌سازی نماید (۲۲ و ۳۳). از عمده‌ترین این مدل‌ها می‌توان به WOFOST (۳۴)، EPIC (۳۰)، CERES (۲۴)، SPASS (۳۵)، STICS (۸)، SIMULAT (۱۳)، WARM (۱۴) و AquaCrop (۱۶) اشاره نمود.

از میان مدل‌های موجود، WOFOST^۶، که مبتنی بر برهمکنش بین محصولات تولیدی و فاکتورهای اکولوژیکی بوده، از جمله مدل‌های گیاهی خانواده واخنینگن است که با مشارکت مرکز بیولوژیکی کشاورزی و حاصلخیزی خاک واخنینگن ایجاد گردید. این مدل از جمله مدل‌های علت و معلولی است که رشد و نمو محصولات را تابعی از دما، تابش خورشیدی و بارش در نظر می‌گیرد و توانایی شبیه‌سازی رشد گیاه را در بازه زمانی روزانه در شرایط آبیاری کامل و

مدل‌های گیاهی در مطالعه اثرات مختلف و در عین حال متقابل استراتژی‌های مدیریتی و محیطی مورد استفاده قرار گرفته و می‌تواند سناریوهایی مختلفی را تحت شرایط مختلف خاک، هوا، آبیاری و

۱، ۲ و ۳- به ترتیب دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشیار و استاد دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری
(*) نویسنده مسئول:
(Email: Aliponh@yahoo.com)

۴- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران

۵- استاد گروه کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان

و ۵۵ درصد در مقایسه با آبیاری کامل مورد استفاده قرار گرفته است و بعد از بررسی نتایج هر تیمار ضرایب گیاهی را برای هر تیمار محاسبه نموده تا مبنایی برای محاسبات میزان بهره‌وری مصرف آب در مزرعه پژوهشی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی ساری باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

اطلاعات موردنیاز این مقاله، از یک پژوهش مزرعه‌ای انجام شده در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در استان مازندران (۱۷) با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۵۳/۰۴ درجه شرقی و ۳۶/۳۹ درجه شمالی و با ارتفاع ۱۳/۵ متر از سطح دریا، در طی دو فصل زراعی ۹۲-۱۳۹۱ و ۹۳-۱۳۹۲ روی گیاه آفتابگردان رقم آذر گل به دست آمد. پارامترهای هواشناسی مورد استفاده بر حسب نوع داده ورودی مدل به صورت روزانه در طی یک سال یا محدود به فصل رشد بوده که در جدول ۱، به صورت مجموع سالانه یا میانگین ارایه شده است که از ایستگاه هواشناسی دشت ناز واقع در ۱۵ کیلومتری مزرعه پژوهشی برداشت شد.

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی در منطقه ساری

پارامترهای هواشناسی در طول فصل رشد	2012 1391	2013 1392
Weather data in growth season		
MJm ⁻² d ⁻¹ میانگین تابش با طول موج کوتاه، Irradiation MJm ⁻² d ⁻¹	13.77	14.02
C میانگین کمینه دمای روزانه، Minimum temperature, C	13.4	12.9
C میانگین بیشینه دمای روزانه، Maximum temperature, C	23.6	22.9
میانگین رطوبت نسبی (درصد) Early morning vapour pressure (%)	75	75
تبخیر سالانه، mm Annual evaporation, mm	1146	1222
بارش سالانه، mm Precipitation, mm	590.7	568
میانگین سرعت باد، km/hr Mean wind speed, mm	2	2

خصوصیات فیزیکی خاک منطقه

با توجه به اینکه مدل WOFOST تنها یک لایه عمق ریشه‌دوانی را در نظر می‌گیرد، اعماق ۰، ۲۰-۴۰، ۴۰-۶۰ و ۶۰-۴۰ سانتی‌متری مبنای شبیه‌سازی قرار گرفته است. برخی از خصوصیات خاک مزرعه پژوهشی به‌عنوان اطلاعات ورودی بخش خاک مدل WOFOST در جدول ۲ ارایه شده است.

محدود شده (کم‌آبیاری) داراست. اساسا این مدل برای مناطقی توسعه یافته است که اقلیم، خاک و داده‌های گیاهی در آن همگن فرض شده و در دوره رشد با رویکرد فوتوسنتزی خود، می‌تواند بطور روزانه تجمع زیست‌توده و چگونگی توزیع آن را در اندام‌های گیاهی محاسبه نماید (۶).

از اولین کارهای شبیه‌سازی که با این مدل انجام گرفته شبیه‌سازی رشد گیاه در کشورهای آفریقایی بوركینافاسو، غنا و کنیا بود که عملکرد پتانسیل گیاهان را در این کشورها مورد بررسی قرار داده و منجر به افزایش استفاده از کود شیمیایی در این کشورها شده است (۱۲). با انتشار این مدل، توانایی قدرتمند این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده گیاهان مختلف تحت بیلان‌های مختلف آبی و شرایط محیطی مختلف و رژیم‌های آبیاری گزارش شده است. در بخشی از این تحقیقات، به شبیه‌سازی محصولات عمده سالانه تحت شرایط فعلی یا آینده (۳۴) یا در طی چند سال متوالی (۴) و (۲۷) پرداخته شده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی با WOFOST با نتایج حاصل از بسیاری از مطالعات آزمایشگاهی (۲۵) و مزرعه‌ای (۱۵، ۲۲ و ۲۶) اعتبارسنجی شده است. بخشی از این تحقیقات، به ارزیابی کارایی مدل WOFOST در کنار سایر مدل‌های شبیه‌سازی رشد فیزیکی گیاه اختصاص دارد (۴ و ۳۴). در زمینه شبیه‌سازی فرایند رشد و تاثیر آب بر عملکرد و بهره‌وری، شاهین‌رخسار و امیری (۳۲) دو رقم سویا را تحت مدیریت کم‌آبیاری ۵۰ و ۷۵ درصد و تیمار شاهد آبیاری کامل در منطقه گرگان در سال ۱۳۹۰ اجرا نمودند که کارایی مطلوب مدل WOFOST را در شبیه‌سازی سویا نشان داد. همچنین می‌توان به شبیه‌سازی فرایند رشد و نمو برنج در منطقه رشت طی دو سال ۱۳۸۳-۱۳۸۲ اشاره نمود (۲۷). تلفیق مدل WFOSOT و سیستم پایش عملکرد رشد^۱ در محاسبه شکاف عملکرد گندم پاییزه در محدوده اروپا به کار گرفته شد که در نهایت به علت اشتباه در برآورد مقادیر فنولوژیکی، تخمین پایین‌تر از حد معمول بوده ولی به‌خوبی توانسته شکاف‌های عملکردی را تحت پوشش قرار دهد (۶).

تحقیقاتی که تاکنون در ارتباط با استفاده از مدل WOFOST منتشر شده است، به روش‌های سنتی کم‌آبیاری معطوف بوده که یا به‌صورت درصد کم‌آبیاری در شرایط بهینه لحاظ می‌شده (۲) یا بر اساس بررسی شرایط رشد در روزهای معین بعد از آبیاری است (۵)، (۲۱ و ۲۷). همچنین بررسی این تحقیقات نشان می‌دهد که با وجودی که گیاهان یکساله زیادی مبنای تحقیقات بوده‌اند، اما در مورد گیاه آفتابگردان، چیزی منتشر نشده است. لذا در این تحقیق آخرین نسخه مدل WOFOST در شبیه‌سازی واکنش آفتابگردان در شرایط کم‌آبیاری تنظیم شده (DI^۲) و بخشی ریشه (PRD^۳) در دو سطح ۷۵

1- Crop Growth Monitoring System

2- Regulated Deficit Irrigation

3- Partial root- zone drying

تیمارهای آبیاری و شیوه اجرای طرح

قدمی (۱۷) به منظور بررسی اثر کم آبیاری تنظیم شده و بخشی بر عملکرد محصول و شاخص برداشت این پژوهش را در قالب طرح های بلوک کامل تصادفی با پنج تیمار آبی کامل، کم آبیاری تنظیم شده و کم آبیاری خشکی ناحیه ریشه در دو سطح ۵۵ و ۷۵ درصد نیاز

آبی در سه تکرار در زمینی به مساحت کلی حدود ۸۰۰ متر مربع انجام داده است. از داده های این پژوهش برای تیپ رشدی و مراحل فنولوژیکی و همین طور ارزیابی آماری پارامترهای گیاهی آفتابگردان و مدل WOFOST استفاده شده است. زمان وقوع مراحل فنولوژیکی برای گیاه آفتابگردان در جدول ۳ ارایه شده است.

جدول ۲- خصوصیات خاک منطقه مطالعاتی در عمق ریشه دوانی
Table 2- Soil characteristic of research region in rooting depth

عمق (cm) Depth (cm)	بافت Texture	رطوبت در حد ظرفیت زراعی Field Capacity (%)	رطوبت در نقطه پژمردگی دائم Permanent Wilting Point (%)	وزن مخصوص ظاهری Bulk Density (gr/cm ³)
0-20	Sandy- Loam	30.3	15.4	1.46
20-40	Clay- loam	32.5	15.6	1.36
40-60	Clay- loam	32	14	1.35

جدول ۳- اطلاعات مربوط به تاریخ کاشت و برداشت

Table 3- Data about Sowing and harvesting

سال year	تاریخ کاشت Sowing date	تاریخ جوانه زنی emergence date	تاریخ گل دهی Flowering date	رسیدگی کامل فیزیولوژیکی Maturity date
۱۳۹۱	سوم خرداد	نهم خرداد	۲۷ تیر	۳ شهریور
2012	24 May	30 May	14 July	25 August
روز از سال میلادی day number of the year	151	157	206	244
۱۳۹۲	۲۵ اردیبهشت	۳۱ اردیبهشت	۲۱ تیر	۲۴ مرداد
2013	15 May	21 May	12 July	15 August
روز از سال میلادی day number of the year	150	156	202	235

در زمان رسیدگی فیزیولوژیکی، در هر کرت با حذف ردیف های کناری و ابتدا و انتها، از کرت های وسط برای هر تیمار ۱۵ گیاه به طور تصادفی انتخاب گردید (۱۷). ارزیابی ها در ۵ دوره زمانی که به ترتیب ۵۲، ۵۹، ۶۶، ۷۳ و ۸۰ روز بعد از کاشت بود، انجام شد.

رویکرد WOFOST

در این مطالعه سعی شده است تا شبیه سازی الگوی رشد گیاه آفتابگردان تحت تیمارهای کم آبیاری، پُرآبیاری و آبیاری بخشی ریشه با استفاده از مدل WOFOST نسخه ۷.۱.۳ مورد ارزیابی قرار گیرد. WOFOST مدلی مبتنی بر فرایندهای مکانیکی است که رشد گیاه را بر اساس جداسازی نور و جذب CO₂ به عنوان فرایند رشد و توسعه فنولوژیکی را به عنوان فرایند کنترل کننده رشد بیان می کند. برای گیاه آفتابگردان دو مرحله توسعه گیاهی با استفاده از متغیرهای بدون بعد بیان می شود که عدد صفر و دو به ترتیب نشان دهنده جوانه زنی و برداشت می باشد. این مدل می تواند عملکرد نهایی، شاخص سطح برگ، سرعت رشد محصول، میزان تجمع ماده خشک در هر یک از اندامها، میزان تابش جذب شده و مراحل رشد را با فواصل یک روزه

به عنوان خروجی در وضعیت پتانسیل رشد گیاه بدون عوامل محدود کننده رشد، وضعیت محدودیت آب و محاسبه مواد غذایی در شرایط محدودیت آبی را شبیه سازی نماید (۷ و ۳۳). از آنجایی که مدل میزان تعرق پتانسیل را مبتنی بر روش پنمن (۲۳) از یک سو و از سویی دیگر تبخیر روزانه خاک را توسط رابطه جارویس و همکاران (۱۸) محاسبه می کند، توانایی جداسازی تبخیر از تعرق را دارد. تخمین میزان جذب و میزان رشد گیاه بر اساس رابطه ۱ محاسبه می شود (۳۴).

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

که A میزان جذب واقعی، A_p میزان جذب پتانسیل، T_a میزان تعرق واقعی، T_p میزان تعرق پتانسیل است.

شبیه سازی الگوی رشد گیاه آفتابگردان با استفاده از مدل WOFOST

اگرچه مدل مبتنی بر فرایندهای بیوفیزیکی پیچیده است، اما نیاز به پارامترهای ورودی کمی دارد (۶). عمده ترین داده های ورودی شامل: موقعیت مکانی، پارامترهای هواشناسی، گیاهی، خاک و مواد

اندام‌های ذخیره (kg. ha^{-1}) و در ۵ دوره زمانی که به ترتیب ۵۲، ۵۹، ۶۶، ۷۳ و ۸۰ روز بعد از کاشت است، استفاده شد. سپس مدل با استفاده از دو روش ترسیمی و شاخص‌های آماری نظیر ضریب همبستگی (R)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطای نرمال (nRMSE)، خطای متوسط (ME)، ضریب جرم باقی‌مانده (CRM)، معیار خطای نسبی (RE)، کارایی مدل (EF) و آزمون F مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی مدل

از آن‌جایی که مدل مذکور در شبیه‌سازی شرایط کم‌آبایی نمی‌تواند تفاوت روش‌های DI و PRD را در هر یک از سطوح کاربردی آن در میزان عملکرد به خوبی توصیف نماید و میزان کم‌آبایی را تنها وابسته به عمق نیاز آبی در نظر می‌گیرد، بنابراین مدل برای هر کدام از تیمارها برای سال زراعی ۱۳۹۱ مورد واسنجی قرار گرفت و در ادامه مدل برای هر دو سال زراعی ارزیابی شد. بایستی توجه نمود که واسنجی در طی دو مرحله انجام شد. در مرحله اول، ضرایب گیاهی‌ای واسنجی شد که با توجه به منطقه مورد مطالعه، شرایط آب و هوایی و گیاه آفتابگردان در طی این پژوهش متغیر بوده و لذا برای همه تیمارها ثابت در نظر گرفته شد. نتایج این ضرایب در جدول ۴ ارائه شده است.

در مرحله دوم، سایر پارامترهای ضروری که مدل به آنها حساسیت بیشتری داشته و مستقیماً بر میزان شاخص برداشت، عملکرد توده زنده و متوسط عملکرد تاثیرگذار بوده مشخص شده است. این ضرایب که مشخص‌کننده نوع تیمارها هستند، در شکل ۱ ارائه شده است. عبارات L_1 ، L_2 و L_3 به ترتیب به سطور یک، دو و سه که برای هر ضریب در مدل وجود دارد، اشاره دارد. بررسی ضرایب گیاهی شکل ۱ نشان می‌دهد که هر چه درصد اعمال کم‌آبایی بیشتر شود یا به عبارت دیگر میزان آبیاری کاهش یابد، $KDIFTB$ و $AMAXTB$ روند نزولی یافته و کاهش می‌یابد.

برای نمونه پارامتر $AMAXTB$ در هر سه سطر، در آبیاری کامل بیشترین میزان بوده و با کاهش میزان آب داده شده به گیاه، کاهش خواهد یافت، به طوری که در تیمار DI 55 کمترین میزان را در تمامی سطور به خود اختصاص می‌دهد. بررسی جزئیات در اثرات سطور مختلف هم نشان می‌دهد که سطر اول این پارامتر، تاثیر زیادی بر میزان عملکرد متوسط محصول داشته و دو سطر دیگر بر میزان عملکرد زیست‌توده و شاخص برداشت تاثیرگذار است، به طوری که با

غذایی موجود در خاک است که در طی چند مرحله در مدل ویرایش می‌شود. هدف از این پژوهش، به دست آوردن پارامترهای گیاهی آفتابگردان برای هر یک از تیمارهای آبیاری کامل (FI)، کم‌آبایی تنظیم‌شده در سطح ۷۵ و ۵۵ (PRD 55, 75) و آبیاری بخشی ریشه (DI 55, 75) است که در روش اول ۷۵ و ۵۵ درصد آب مورد نیاز در دوره‌های غیر حساس به گیاه داده می‌شود تا از کاهش معنادار محصول جلوگیری نماید و در روش دوم منطقه ریشه به نواحی مختلف تقسیم شده و در هر بار آبیاری یک یا چند ناحیه به میزان ۷۵ و ۵۵ درصد بر حسب نوع تیمار آبیاری شده و نواحی دیگر خشک رها می‌شود و این عمل به صورت تناوبی تکرار می‌گردد (۲). از آن‌جایی که مدل، میزان آب آبیاری را مستقیماً در نظر نمی‌گیرد، لذا مقدار آب آبیاری، بر حسب نوع تیمار اعمال شده، در تاریخ‌های اعمال تیمار، به بارندگی روزانه اضافه می‌شود. لذا به تعداد تیمارهای آبیاری، بایستی فایل‌های هواشناسی مجزایی در مدل تعریف گردد. بایستی توجه نمود که در سطوح ۵۵ درصد و ۷۵ درصد، میزان آب ورودی در روزهای آبیاری، در هر یک از تیمارهای PRD و DI برابر خواهد شد، لذا مدل تمایزی بین این روش‌ها قایل نخواهد شد و نمی‌تواند برخی از خصوصیات روش‌های PRD را نسبت به روش‌های سنتی گفته شده توصیف نماید که می‌تواند از جمله کاستی‌های مدل شبیه‌ساز WOFOST باشد و مستلزم در نظر گرفتن سایر مدل‌های شبیه‌سازی تفکیک‌کننده نظیر روش‌های مختلف کم‌آبایی از جمله روش بخشی یا تنظیم شده است. بر همین اساس با توجه به ماهیت PRD و DI که متمایز از روش‌های سنتی اعمال کم‌آبایی هستند، به میزان ۰/۰۲ در هر یک از سطوح به تیمارهای PRD اضافه شد تا بتوان تمایز مورد بحث را پوشش داد. از سویی دیگر، اجزای بهره‌وری آب که شامل WP_{I+R} (بهره‌وری بر اساس میزان آب آبیاری) و WP_I (بهره‌وری بر اساس مجموع آب آبیاری و بارش) است بررسی شد که در روابط ۲ و ۳ به ترتیب بیان شده است (۲۸). شاخص برداشت نیز از جمله پارامترهای مهم در تحلیل‌های زراعی است که توسط دونالد و هامبلین (۱۴) طبق رابطه ۴ قابل محاسبه است. در نهایت، بیان آب در طول فصل زراعی طبق رابطه ۵ آورده شده است.

$$WP_I = \frac{Y_g}{I} \quad (2)$$

$$WP_{I+R} = \frac{Y_g}{I+R} \quad (3)$$

$$HI = \frac{Biomass}{Seed} \quad (4)$$

$$I+R = E+T+D+\Delta W \quad (5)$$

در این روابط، Y_g مقدار عملکرد (kg/ha)، E و T به ترتیب مقدار تعرق و تبخیر شبیه‌سازی شده مدل (mm)، R و I میزان بارش (mm) و میزان آبیاری (m^3)، $Biomass$ و $Seed$ به ترتیب عملکرد محصول و عملکرد دانه (kg. ha^{-1})، D و ΔW به ترتیب نفوذ عمقی و تغییرات آب ذخیره شده در منطقه ریشه (mm) است. برای صحت‌سنجی مدل از ۷۵ مقدار عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده کل که مشتمل بر وزن خشک برگ، وزن خشک ساقه و وزن خشک

1- Extinction coefficient for diffuse visiblelight [-] as function of DVS

2- Maximum leaf CO2 assimilation as function of DVS

کاهش سطر اول، عملکرد تا حد زیادی کاهش یافته ولی دو شاخص دیگر، تغییرات کمی دارند. چنین روندی مستقیماً بر سطرهای دوم و سوم هم نیز حاکم است.

جدول ۴- ضرایب گیاهی آفتابگردان واسنجی شده توسط مدل
Table 4-Plant coefficient of Sunflower calibrated by model

پارامتر Parameter	مقدار Value	واحد Unit
TSUM1 مجموع دما روزانه از جوانه زنی تا گلدهی temperature sum from emergence to anthesis	1300	°Cday
TSUM2 مجموع دما روزانه از گلدهی تا رسیدن temperature sum from anthesis to maturity	1000	Cday°
DVSI مرحله توسعه رشد اولیه initial DVS	0	-
DVSEND مرحله توسعه برداشت development stage at harvest	2	
SLATB سطح ویژه برگ به صورت تابعی از مراحل رشد specific leaf area as a function of DVS	0, 0.0025 0.002, 1 0.002, 2X	ha kg ⁻¹
SPAN طول عمر برگ در حال رشد life span of leaves growing	85	day
RDI عمق اولیه ریشه initial rooting depth	10	cm
RRI بیشینه افزایش روزانه در عمق ریشه maximum daily increase in rooting depth	1.2	cm/day
RDMCR حد اکثر عمق ریشه در دوران بلوغ maximum rooting depth	150	cm
FOTB کسر ماده خشک بالای سطح زمین به اندام‌های ذخیره fraction of above-gr. DM to storage organs	0, 0.85 0, 0.91 0, 1 0, 1.22 1, 1.55 1, 2	kg kg ⁻¹
FSTB کسر ماده خشک بالای سطح زمین به ساقه fraction of above-gr. DM to stems	0, 0.5 0.8, 0.5 0.91, 0.51 1, 0.8 1.22, 1 1.55, 0 0, 2	kg kg ⁻¹
LAIEM شاخص سطح برگ در جوانه‌زنی leaf area index at emergence	0.0053	ha ha ⁻¹
TSUMEM زمان حرارتی از کاشت تا جوانه‌زنی temperature sum from sowing to emergence	130	°Cday ⁻¹

اثرات کلی بر هم داشته و لازم است که هم به صورت مجزا و هم به صورت کلی با هم سنجیده شود.

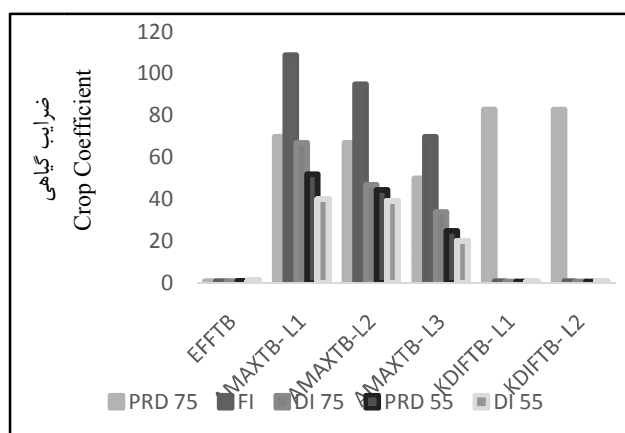
نتایج ارزیابی مدل

نتایج پارامترهای آماری که برای ارزیابی مدل WOFOST استفاده شد، در جدول ۵ ارائه شده است. بررسی RMSE پارامترهای مورد بررسی در طی دو سال زراعی، در تمام تیمارها نشان می‌دهد که پارامتر زیست‌توده کل کمترین میزان RMSE را دارا بوده که در اکثر تیمارها نزدیک به صفر می‌باشد، به ویژه در تمام تیمارهای سال ۱۳۹۲ که بهترین تطابق بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای وجود

از سوی دیگر پارامتر KDIFTB نیز از جمله پارامترهایی است که مستقیماً بر شاخص عملکرد متوسط موثر است اما بررسی نتایج حاصل از واسنجی این پارامتر نشان داد که تاثیر چشمگیری بر میزان زیست‌توده کل و شاخص برداشت ندارد. این پارامتر نیز با کاهش میزان آبیاری، کاهش می‌یابد. همچنین پارامتر^۱ EFFTb نیز بر زیست‌توده کل و شاخص برداشت موثر است و با کاهش میزان آبیاری، مقادیر آن افزایش یافته است. البته باید توجه داشت این اعداد

1- Initial light-use efficiency of CO₂ assimilation of single leaves as function of daily temperature

دارد. همچنین نتایج RMSE پارامتر متوسط عملکرد ارقام قابل قبولی بوده که در بازه ۰/۲ تا ۰/۳۸ تن در هکتار متغیر است.



شکل ۱- نمودار ضرایب گیاهی تیمارهای مختلف آبیاری

Figure 1- Crop Coefficient of each treatments

می‌دهد. همچنین بررسی اجمالی مقادیر RMSE و nRMSE سه پارامتر شاخص سطح برگ، عملکرد متوسط و زیست‌توده کل در طی دو سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ نشان داد در هر دو سال، زیست‌توده کل نسبت به عملکرد متوسط تطابق بهتری بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده وجود دارد. به‌طور کلی می‌توان چنین نتیجه گرفت nRMSE زیست‌توده در هر ۵ تیمار در طی دو سال مورد بررسی کمتر از ۱۰ درصد بوده که در دامنه عالی قرار دارد (۱۹) که با نتایج تحقیقات صورت گرفته مرتبط با مدل WOFOST مطابقت دارد (۴،۲، ۵، ۲۷ و ۳۲). بررسی CRM نیز نشان می‌دهد که این آماره در اکثر موارد نزدیک به صفر یا صفر بوده که نشان‌دهنده کارایی بالای مدل است. بررسی دقیق‌تر این آماره نشان می‌دهد که شاخص سطح برگ در تمام این موارد اختلاف ناچیزی با صفر داشته که نشان‌دهنده دقت بالای مدل است، اما در اکثر موارد این آماره منفی بوده که گویای این حقیقت است که مدل برآورد کمتری از مقدار مشاهده‌ای دارد. همچنین بررسی اجمالی این آماره نشان می‌دهد که دقت شبیه‌سازی در سال ۱۳۹۱ نسبت به سال ۱۳۹۲ بیشتر بوده است. RE نیز در محدوده قابل قبولی بوده که در اکثر تیمارها در سال‌های زراعی نزدیک به صفر بوده که کارایی خوب مدل را در شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با نتایج تحقیقات صورت گرفته مطابقت دارد (۴،۲، ۵، ۲۷ و ۳۲). همچنین نتایج ارزیابی کارایی مدل در برآورد سه پارامتر نشان داد اگرچه بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مطابقت مطلوبی وجود دارد که نشان‌دهنده کارایی بالای مدل می‌باشد، با این حال، کارایی مدل در سال ۱۳۹۲ بهتر از ۱۳۹۱ بوده است. چنین روندی در مورد خطای نسبی بین تیمارها و تمام پارامترها نیز قابل مشاهده و استناد است. از این میان، تیمار DI 55 در سال

از این میان شاخص سطح برگ، نسبت به دو پارامتر دیگر در هر دو سال و برای همه تیمارهای مورد بحث ارقام بالاتر از این دامنه را به خود اختصاص داده (۱/۲۶-۰/۳۶ هکتار در هکتار $ha\ ha^{-1}$) که اگرچه این اعداد همواره نزدیک به یک می‌باشند و نشان‌دهنده اختلاف کم بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای است، با این حال با سایر ارقام در این مقایسه، اختلاف بیشتری دارند. بالا بودن RMSE در شاخص سطح برگ نشان می‌دهد که مدل شاید نتواند این پارامتر را به دقت سایر موارد شبیه‌سازی نماید که از این جهت با نتایج امیری و همکاران (۴) که روی گیاه برنج و در شرایط غرقاب دائم و آبیاری پس از ۱، ۳ و ۵ روز محو شدن آب از سطح زمین و آبیاری با دوره‌های ۵ و ۸ روزه بوده مطابقت دارد. البته بایستی سایر آزمون‌های آماری را نیز مورد بررسی قرار داد. بررسی nRMSE برای همه تیمارها و همه پارامترهای مورد بررسی در هر دو سال زراعی، روند معکوسی داشته است. به‌طوری‌که شاخص سطح برگ همواره کمتر از ۱۰ درصد بوده که آن‌را در دامنه عالی قرار می‌دهد (۱۹) که با نتایج بررسی آماره RMSE در همین پژوهش و همچنین امیری و همکاران (۴ و ۵) و تودوروویچ و همکاران (۳۵) همخوانی ندارد. چنین روندی کم‌وبیش در پارامترهای زیست‌توده کل هم مشاهده شده است که همواره این آماره کمتر از ۱۰ درصد و یا نزدیک به آن (حدوداً ۱۱ درصد) بوده و از این میزان فراتر نرفته که آن‌را در محدوده خوب تا عالی قرار می‌دهد. همچنین بررسی اعداد این آماره در تمام تیمارها در دو طی دو سال زراعی نشان می‌دهد که مدل در ارزیابی متوسط زیست‌توده کل در تمام تیمارها تا حدی نسبت به سایر پارامترها ضعیف عمل کرده است و nRMSE آن بیشتر از ۱۰ درصد و در تعدادی از آنها بیشتر از ۲۰ درصد هم بوده که آن‌را در رده خوب جای

۱۳۹۲، بهترین تطابق را بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارد. از سویی دیگر، نتایج آزمون t در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داد که تفاوت معناداری بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده‌ای وجود ندارد ($T_{test} > 0.05$). البته این روند در تیمارهای 75, 55 DI در سال ۱۳۹۲

جدول ۵- نتایج ارزیابی شبیه‌سازی حاصل از مدل WOFOST

Table 5- Result of evaluation of WOFOST Model

	سال Year	تیمار Treatment	RMSE (t ha ⁻¹)	nRMSE (%)	CRM	RE (%)	ME (%)	EF (%)	T _{test}
total above ground product مجموعه عملکرد	۱۳۹۱	FI	0.25	13.35	-2.44	0.08	0.02	4.89	0.07
		PRD 75	0.38	27.2	-1.35	0.07	0.08	12.2	0.08
		DI 75	0.2	15.82	-1.03	0.08	-0.04	6.8	0.057
		PRD 55	0.28	26.6	-2.04	0.13	-0.06	13.8	0.032
		DI 55	0.33	22.9	-7.87	0.14	0.01	7.9	0.07
		FI	0.34	20.66	-2.73	0.06	0	7.8	0.033
	۱۳۹۲	PRD 75	0.38	23	1.15	0.02	-0.09	10.7	0.052
		DI 75	0.37	28	1.37	0.03	-0.09	9.63	0.053
		PRD 55	0.33	27	3.17	0.01	-0.08	9.1	0.052
		DI 55	0.26	28.41	-0.68	0.07	-0.05	9.4	0.044
		FI	0.09	4.12	-1.85	0.02	0.01	0.61	0.079
		PRD 75	0.04	1.01	0.09	0	0	0.23	0.06
total dry weight of storage organs عملکرد زی توده	۱۳۹۱	DI 75	0.03	1.03	0.11	0	0	0.25	0.317
		PRD 55	0.01	0.95	0	0	0	0.17	0.426
		DI 55	0.2	11	-7.05	0.08	0.04	3.08	0.061
		FI	0.1	3.8	-1.95	0.03	0.01	1.23	0.321
		PRD 75	0.16	3.9	2.9	0.08	-0.04	3.5	0.03
		DI 75	0.15	4.56	3.2	-0.07	-0.03	2.6	0.051
	۱۳۹۲	PRD 55	0.14	6.5	4.73	-0.07	-0.03	3.13	0.09
		DI 55	0.07	3.57	1.25	-0.01	0	0.8	0.056
		FI	1.26	4.3	-0.02	0.05	-0.02	3.87	0.93
		PRD 75	0.69	2.25	0.03	-0.06	0.03	2.86	0.09
		DI 75	0.52	2.2	-0.07	0.12	-0.06	2.13	0.06
		PRD 55	0.46	1.18	0.04	-0.07	0.03	1.19	0.09
leaf area index شاخص سطح برگ	۱۳۹۱	DI 55	0.36	1.83	-0.08	0.11	-0.05	0.93	0.05
		FI	1.24	4.16	0.1	-0.2	0.1	2.72	0.09
		PRD 75	0.95	3.7	0.11	-0.23	0.11	1.64	0.41
		DI 75	0.8	3.46	-0.02	0.03	-0.01	1.31	0.47
		PRD 55	0.77	3.32	0	0.02	-0.01	1	0.42
		DI 55	0.5	2.64	0	0	0	0.7	0.94

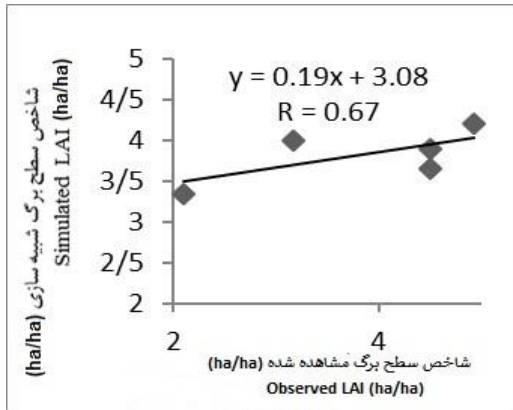
نشان داد که مدل توانایی کمی در شبیه‌سازی شاخص سطح برگ دارد که با نتایج امیری و همکاران (۴ و ۵) مطابقت دارد که در ارزیابی RMSE نیز چنین مشاهده شده است.

در جدول ۶ عملکرد دانه، زیست‌توده، شاخص سطح برگ و شاخص برداشت شبیه‌سازی شده و مشاهده شده (۱۷) تیمارهای مختلف در سال ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج جدول ۶، مدل تمام تیمارهای آبیاری پارامترهای شبیه‌سازی شده در سال ۱۳۹۲ را کمتر از مقدار مشاهده شده تخمین زده است که روند آن مطابق با خطای نسبی محاسبه شده در جدول ۵ است که با توجه به آزمون‌های ارزیابی، نتایج همچنان قابل استناد و در محدوده قابل قبولی قرار دارد. لازم به توضیح است که شاخص سطح برگ اشاره شده در جدول ۶، برای مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی مربوط به بیشینه دوره رشد گیاه است.

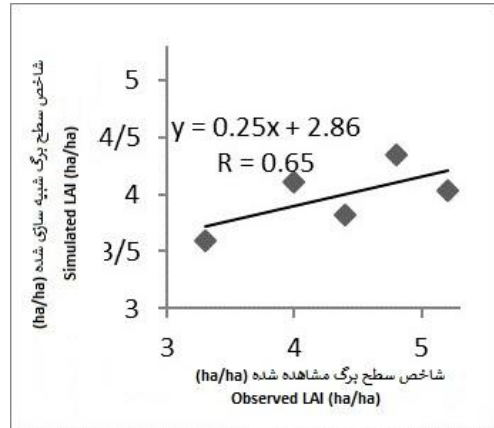
مقایسه مقادیر مشاهده شده عملکرد دانه، شاخص سطح برگ و زیست‌توده با مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی آن به وسیله‌ی مدل، با خط یک به یک در شکل ۲ الف، ب و ج نشان داده شده است. ضریب همبستگی (R) یک به یک محاسبه شده بین عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای سال ۱۳۹۱ به ترتیب برابر با ۰/۹۴، ۰/۹۷، و ۰/۴۳ حاصل شد که کارکرد این مدل را در پیش بینی عملکرد آفتابگردان مورد تأیید قرار می‌دهد. همچنین همین آماره برای سال ۱۳۹۲ به ترتیب برای عملکرد دانه، بیوماس کل و شاخص سطح برگ شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برابر با ۰/۷۱، ۰/۹۲، و ۰/۴۶ به دست آمد. بررسی نمودارها همچنین نشان می‌دهد که زیست‌توده شبیه‌سازی شده در اکثر تیمارها کمتر از مقادیر مشاهده‌شده است که با نتایج سعادت و همکاران (۲۷) مطابقت دارد. همچنین بررسی شاخص سطح برگ در طی دو سال زراعی نیز

بین این دو تیمار به خوبی در مقادیر اندازه‌گیری کارایی و برتری اعمال تیمار PRD 75 را نشان می‌دهد. همین مسئله مبنای مقایسه بین مقادیر شبیه‌سازی شده بین این دو تیمار شده است که نتایج آزمون T_{test} در سطح احتمال ۹۵٪ در جدول ۷ آورده شده است ($T_{test} > 0/05$).

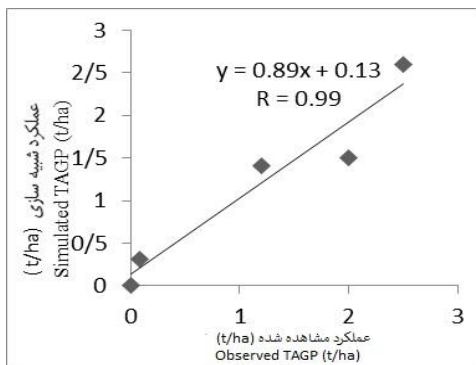
از آنجایی که مقاله حاضر مبتنی بر کار تحقیقاتی انجام شده قدمی (۱۷) می‌باشد و از نتایج پارامترهای اندازه‌گیری شده آن در تحلیل نتایج شبیه‌سازی مدل استفاده شد، بررسی نتایج در میزان متوسط عملکرد، زیست‌توده کل و شاخص سطح برگ نشان داد که اگرچه بین تیمارهای PRD, DI 55, DI 75 و تیمار آبیاری کامل (FI) اختلاف معناداری مشاهده شده است، ولی بین تیمارهای FI و PRD 75 اختلافی وجود نداشته و در واقع طبق انتظار میزان عملکرد



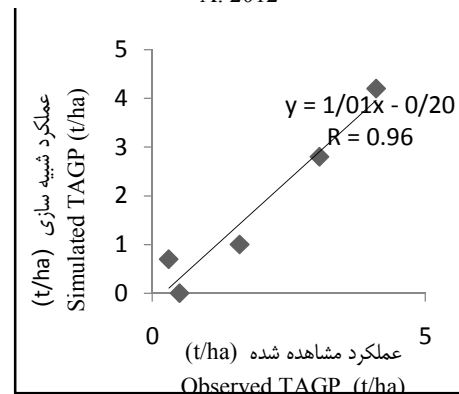
ب: ۱۳۹۲
B: 2013



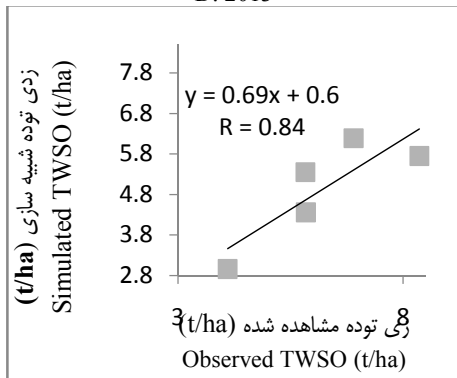
الف: ۱۳۹۱
A: 2012



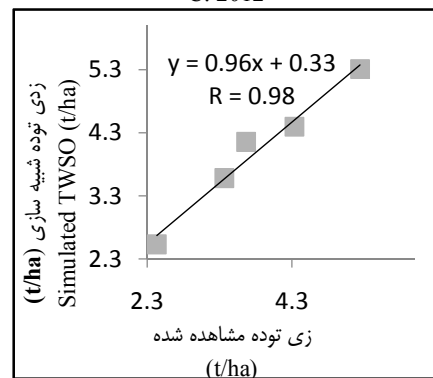
ج: ۱۳۹۲
D: 2013



پ: ۱۳۹۱
C: 2012



د: ۱۳۹۲



د: ۱۳۹۱

H: 2013

E: 2012

شکل ۲- نمودارهای یک به یک پارامترهای مورد بررسی
Figure 2- 1:1 figures of evaluated parameters

جدول ۶- مقادیر شبیه سازی و مشاهده ای پارامترهای گیاهی با استفاده از مدل WOFOST
Table 6- Simulated and Observed values of crop parameters by WOFOST

سال Year	تیمار Treatment	شبیه سازی Simulated				مشاهده شده Observed			
		متوسط عملکرد (t ha ⁻¹) TAGP (t ha ⁻¹)	عملکرد زیست توده (t ha ⁻¹) TWSO (t ha ⁻¹)	شاخص برداشت (%) HI (%)	شاخص سطح برگ (ha ha ⁻¹) LAI (ha ha ⁻¹)	متوسط عملکرد (t ha ⁻¹) TAGP (t ha ⁻¹)	عملکرد زیست توده (t ha ⁻¹) TWSO (t ha ⁻¹)	شاخص برداشت (%) HI (%)	شاخص سطح برگ (ha ha ⁻¹) LAI (ha ha ⁻¹)
۱۳۹۱ 2012	FI	20.74	5.30	0.26	7.99	20.74	5.31	0.25	7.6
	PRD 75	16.45	5.27	0.32	7.08	16.56	4.96	0.3	6.9
	DI 75	14.09	4.3	0.31	5.74	14.07	4.14	0.29	6.1
	PRD 55	12.33	3.4	0.28	5.47	12.47	3.28	0.26	6
	DI 55	10.21	3.05	0.3	4.38	10.11	2.93	0.29	5.2
۱۳۹۲ 2013	FI	18.52	4.31	0.23	7.95	18.24	5.14	0.28	7.2
	PRD 75	14.61	4.07	0.28	7	15.60	4.7	0.3	7.1
	DI 75	12.38	3.16	0.26	5.65	13.76	4.42	0.32	6.5
	PRD 55	10.92	2.47	0.23	5.32	11.79	3.62	0.3	6.64
	DI 55	9.56	2.32	0.24	4.23	9.96	3.18	0.32	5.7

جدول ۷- آزمون T_{test} در سطح ۹۵ درصد در مقادیر شبیه سازی دو تیمار PRD 75 و FI
Table 7- T_{test} in 95% level in simulated parameters in FI and PRD 75 treatments

سال Year	شاخص سطح برگ LAI	متوسط عملکرد TAGP	زیست توده کل TWSO
۱۳۹۱	۰/۶۹	۰/۰۴	۰/۰۵۱
2012	0.69	0.04	0.05
۱۳۹۲	۰/۸۶	۰/۰۹۷	۰/۳۸
2013	0.86	0.097	0.38

وضعیت رطوبتی خاک، کم آبی و میزان پوشش گیاهی می باشد. از این میان تیمار FI در سال زراعی ۱۳۹۱ بیشترین میزان تبخیر - تعرق را به میزان ۳۰۳ میلی متر به خود اختصاص داده است. از سوی دیگر نتایج پژوهش حاضر نشان داد که با اعمال کم آبیاری تلفات (نفوذ عمقی و رواناب) کاهش یافته است که با نتایج تحقیقات پیشین در این زمینه مطابقت دارد (۴ و ۲۷).

بهره‌وری آب

به منظور تخمین اجزای بهره‌وری آب (WP_I، WP_{I+R}) برای مدیریت‌های آبیاری از پارامترهای بیلان آب و مقدار عملکرد اندازه‌گیری شده استفاده شد که نتایج آن در جدول ۹ ارائه شده است. نتایج نشان داد که با کاهش مقدار آبیاری، شاخص بهره‌وری مجموع آبیاری و بارش (WP_{I+R}) و بهره‌وری مقدار آبیاری (WP_I) مبتنی بر عملکرد و بیوماس کل در تیمارها در هر دو سال کاهش داشته که با نتایج امینی‌فر و همکاران (۳) روی گیاه سویا مطابقت ندارد. بررسی

بررسی جدول بالا نشان می‌دهد که مدل مذکور با تغییر ضرایب تیمارهای آبیاری توانسته به خوبی شرایط کم آبیاری را لحاظ نموده و تفاوت روش‌های مختلف را در میزان عملکرد به خوبی توصیف نماید. بدین ترتیب تا حدودی این نقص که مدل پیش از این میزان کم- آبیاری را تنها وابسته به عمق نیاز آبی در نظر می‌گرفته مرتفع شده است. بررسی اعداد و ارقام در جدول ۷ نشان می‌دهد که در سطح احتمال ۹۵ درصد بین عملکرد، شاخص سطح برگ و زیست توده کل تفاوت معناداری وجود دارد و روش PRD 75 می‌تواند جایگزین روش‌های FI شود که با نتایج قدمی (۱۷) همخوانی دارد.

بیلان آب

بررسی اجمالی نتایج جدول ۸ در طی دو سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ نشان داد در تیمارهای کم آبیاری به دلیل تنش آبی تعرق گیاه کاهش یافته است. مقدار تعرق در دوره رشد، تحت تأثیر شرایط و

سال ۱۳۹۲ روندی معکوس مشاهده شده است و در آن میزان خطای نسبی بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی در تیمار DI 55 به ۲۴ درصد می‌باشد و بیشترین میزان اختلاف بین تیمار FI و در سال ۱۳۹۲ اتفاق افتاده و میزان خطای نسبی آن ۳۴ درصد است. اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی مقادیر WP_1 در طی دو سال زراعی نسبتاً کمتر بوده و برای تیمار PRD 75 و FI در هر دو سال کمتر از مقادیر مشاهداتی بوده و در مواردی نظیر تیمار DI 75 و PRD 55 این اختلاف به کمترین میزان خود (۱/۵- درصد) رسید.

جزئیات در این زمینه نشان می‌دهد که این اختلاف می‌تواند ناشی از تفاوت در تیپ رشدی آفتابگردان و سویا باشد. زیرا سویا دوره کشت طولانی‌تری داشته و از نظر تیپ شاخه‌بندی نیز تعداد شاخه بیشتر در مقایسه با آفتابگردان داشته که منجر به افزایش عملکرد و بیوماس می‌شود و همین مسئله موجب کاهش بهره‌وری آب در شرایط تنش خشکی شده است. همچنین بررسی اجمالی جدول ۸ نشان می‌دهد، در طی سال ۱۳۹۱، WP_{I+R} همواره میزان شبیه‌سازی شده بیشتر از مقدار مشاهداتی است که اختلاف آن در دامنه ۲۶-۱۳ درصد بوده که در تیمار DI 55 این اختلاف به ۲۶ درصد هم رسیده است. برای

جدول ۸- اجزای بیلان آب و عملکرد آفتابگردان در شرایط شبیه‌سازی با مدل WOFOST

Table 8- Water bilan and TAGP in simulated of WOFOST

سال	تیمار	تعرق (mm)	تبخیر (mm)	تبخیر - تعریق (mm)	تلفات (mm)	بارش + آبیاری (mm)
Year	Treatment	Transpiration	Evaporation	ET	Loss	Precipitation and irrigation
۱۳۹۱	FI	220	83	303	284	530
	PRD 75	167	94	261	229	418
	DI 75	180	97	277	231	430
2012	PRD 55	168	93	261	170	353
	DI 55	158	108	226	164	354
	FI	227	75	302	150	319
۱۳۹۲	PRD 75	174	109	283	135	290
	DI 75	187	101	288	129	286
	PRD 55	108	174	282	103	253
2013	DI 55	164	116	280	100	246

جدول ۹- مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بهره‌وری بر اساس آب آبیاری و بارندگی و بهره‌وری بر اساس آب آبیاری، با مدل WOFOST

Table 9- Simulated and observed productivity of irrigation and precipitation and productivity of irrigation by WOFOST

سال	تیمار	بهره‌وری بر اساس آب آبیاری و بارندگی $(kg. m^{-3})(WP(I+R))$		بهره‌وری بر اساس آب آبیاری $(kg. m^{-3})(WP(I))$		خطای نسبی (درصد) Relative error	
		مشاهده‌ای Observed	شبیه‌سازی Simulated	مشاهده‌ای Observed	شبیه‌سازی Simulated	WP(I+R)	WP(I)
۱۳۹۱	FI	3.54	4.1	4.32	4.3	13	-4.6
	PRD 75	3.26	3.95	4.12	4.1	17	-0.48
	DI 75	2.77	3.26	3.49	3.4	15	-2.6
2012	PRD 55	2.79	3.52	3.65	3.63	20	-0.55
	DI 55	2.27	3.10	2.9	3.21	26	9.65
	FI	3.82	5.8	4.26	4.32	34	-7.07
۱۳۹۲	PRD 75	3.86	5.03	4.39	4.1	23	-7.07
	DI 75	3.39	4.3	3.86	3.47	21	-11.23
	PRD 55	3.38	4.31	3.95	3.64	21	-8.51
2013	DI 55	2.86	3.8	3.34	3.2	24	-4.37

نتیجه‌گیری

دیگری ضرایب آبیاری است که وابسته به نوع تیمارهای آبیاری و رفتار آنها در طول دوره رشد قابل تفسیر می‌باشد. بررسی نتایج حاصل از واسنجی آنها نشان داد که با کاهش میزان حجم آب داده شده به زمین، ضرایب AMAXTB و KDIFTB کاهش یافته و برعکس ضریب EFFTB افزایش یافته است. موارد برشمرده بایستی با توجه به همپوشانی اثرات این ضرایب بر میزان عملکرد دانه، زیست‌توده کل و شاخص برداشت در نظر گرفته شود. اما نکته قابل توجه این است که KDIFTB به طور مستقیم بر میزان عملکرد دانه موثر بوده و آن

نتایج حاصل از واسنجی نشان داد که ضرایب اساسا در این مدل به دو گروه عمده قابل تفکیک است. ضرایب گیاهی که وابسته به شرایط آب و هوایی، طول و عرض جغرافیایی منطقه و خصوصیات فنولوژیکی و فیزیولوژیکی گیاه واسنجی شده و تحلیل نتایج آنها در این پژوهش نشان داد که با تغییر هر کدام از این موارد تغییر خواهد یافت.

آفتابگردان را در تیمارهای کم آبیاری شبیه سازی نماید.

دو پارامتر دیگر با اثرات KDIFTB همپوشانی داشته و بایستی هر سه آنها با هم بررسی شوند. همچنین بررسی نتایج ارزیابی مقادیر شبیه سازی و مشاهده ای نیز نشان می دهد که در اکثر آزمون های آماری، نتایج در محدوده قابل قبولی قرار داشته و مدل به خوبی توانسته است با استفاده از ضرایب واسنجی شده، عکس العمل گیاه

منابع

- 1- Ahmadi S.H., Andersen M.N., Plauborg F., Poulsen R.T., Jensen C.R., Sepaskhah A.R. and Hansen S. 2010. Effects of irrigation strategies and soils on field grown potatoes: Gas exchange and xylem [ABA]. *Agricultural Water Management*, 97: 1486-1494.
- 2- Ahmadi M., Farhadi B. and Ghobadi M. 2014. Regional transferring of barley yield and Water Productivity in deficit irrigation. *Water research in agriculture*, 28: 201- 211. (In Persian)
- 3- Amini Far J., Bigloee M. H. Mohsen Abadi Gh. And Samizade H. 2011. Effect of deficit irrigation on yield and productivity in 7 type of soybean in Rasht region. *Soil and water knowledge*, 21: 81-92. (In Persian)
- 4- Amiri E. Kavosi M. and Kaveh F. 2009. Evaluation of plant growth model ORYZA2000, SWAP and WOFOST in different irrigation management. *Agricultural and engineering research*, 10: 13- 28. (In Persian)
- 5- Amiri E., Rezaii M., Mo'tamed M. K. and Emami S. 2011. Evaluation of crop growth of WOFOST model in irrigation management condition. *Agronomy*, 90: 9-17. (In Persian)
- 6- Boogaard H., Wolf J., Supitc I., Niemeyer S., Ittersuma M. v. 2013. A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union. *Field Crops Research*, 143: 130-142.
- 7- Bouman B. A. M., Van Keulen H., Van Laar H. H. and Rabbinge R. 1996. The "School of de Wit", crop growth simulation models: pedigree and historical overview. *Agricultural System*, 52: 171-198.
- 8- Brisson N., Gary C., Justes E., Roche R., Mary B., Ripoche D., Zimmer D., Sierra J., Bertuzzi P., Burger P., Bussiere F., Cabidoche Y.M., Cellier P., Debaeke P., Gaudillere J.P., Hénault C., Maraux F., Seguin B., Sinoquet H. 2003. An overview of the crop model STICS. *European Journal Agronomy*, 18: 309-332.
- 9- Choisnel E., VILLELE O., Lacroze F. 1992. Une approche de uniformisée du calcul de l'évapotranspiration potentielle pour l'ensemble des pays de la Communauté Européenne. Joint Research Centre, Commission of the European Communities, EUR 14223 FR, Luxembourg, 176 pp.
- 10- Confalonieri R., Acutis M., Bellocchi G., Cerrani I., Tarantola S., Donatelli M., Genovese G. 2006b. Exploratory sensitivity analysis of CropSyst WARM and WOFOST: a case-study with rice biomass simulations. *Italian Journal Agrometeorol*, 11: 17-25.
- 11- Confalonieri R., Acutis M., Bellocchi G. and Donatelli M. 2013. Multi-metric evaluation of the models WARM, CropSyst, and WOFOST for rice. *Ecological Model*, 220: 1395-1410.
- 12- CWFS. 1985. Potential food production increases from fertilizer aid: a case study of Burkina Faso, Ghana and Kenya. CWFS, Wageningen.
- 13- Diekkrüger B., Arning M. 1995. Simulation of water fluxes using different methods for estimating soil parameters. *Ecological Model*, 81: 83-97.
- 14- Donald C.M. and Hamblin J. 1976. The biological yield and harvest index of cereal as Agronomic and plant breeding criteria. *Adv Agronomy*, 28:361-405.
- 15- Eitzinger J., Thaler S., Schmid E., Strauss F., Ferrise R., Moriondo M., Bindi M., Palosuo T., Rotter R., Kersebaum K.C., Olesen J.E., Patil R.H., Saylan L., C, alda g, B., C, aylak, O. 2012. Sensitivities of crop models to extreme weather conditions during flowering period demonstrated for maize and winter wheat in Austria. *Agricultural Science*: 1-23.
- 16- Geerts S. D., Raes M., Garcia R., Miranda J.A., Cusicanqui C., Taboada J., Mendoza R., Huanca A., Mamani O., Condori, J., Mamani, B., Morales, V. and Steduto P. 2009. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability with AquaCrop. *Agronomy Journal*, 101(3): 499-508.
- 17- Ghadami A. 2015. Water Management and Soil Moisture Changes in Full, Regulated Deficit and Partial Root Zone Deficit Irrigations in Sunflower Plant. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Agriculture Engineering Faculty Water Engineering Department, Ph.D thesis in irrigation and drainage engineering. (In Persian)
- 18- Jarvis P.G. 1981. Stomatal conductance, gaseous exchange and transpiration. In: *Plants and Their Atmospheric Environment*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 175-214.
- 19- Kiani A. R. 2010. Optimal irrigation scheduling base on water yield relations in soybean cultivars. *Agricultural engineering research*, 11: 85-112. (In Persian)
- 20- Kloss S, Pushpalatha R, Kamoyo KJ, Schütze N (2012) Evaluation of crop models for simulating and optimizing deficit irrigation systems in arid and semi-arid countries under climate variability. *Water Resour Management*, 26: 997-1014.

- 21- Khoshravesh M., Ghadami Firouzabadi A., Shirazi P. and Najafi-Mood M. H. 2015. Cotton Response Simulation to Dry and Salinity Stress by using of AquaCrop Model. *Water and irrigation engineering*, 21: 166- 179. (In Persian)
- 22- Palosuo T., Kersebaum K.C., Angulo C. 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: a comparison of eight crop growth models. *European Journal Agronomy*, 35, 103-114.
- 23- Penman H.L. 1956. Evaporation, an introductory survey. *Neth. Agricultural Science*, 4: 9-29.
- 24- Ritchie J.T. 1998. Soil water balance and plant water stress. In: Tsuji, G.Y., Hoogenboom, G., Thornton, P.K. (Eds.), *Understanding Options for Agricultural Production*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, pp. 41-55.
- 25- Rötter R.P.; Palosuo T.; Pirttioja N.K.; Dubrovsky M.; Salo T.; Fronzek S.; Aikasalo R.; Trnka M.; Ristolainen A. and Carter T.R. 2011. What would happen to barley production in Finland if global warming exceeded 4 °C? A model-based assessment. *European Journal of Agronomy*, 35: 205-214.
- 26- Rotter R., Palosuo T., Kersebaum K.C., Angulo C., Bindi M., Ewert F., Ferrise R., Hlavinka P., Moriondo M., Nendel C., Olesen J.E., Patil R.H., Ruget F., Takař J. and Trnka M., 2012. Simulation of spring barley yield in different climatic zones of Northern and Central Europe: a comparison of nine crop models. *Field Crops Research*, 133: 23-36.
- 27- Saadati A., Pirmoradian N., Amiri E. and Rezaei M. 2012. Evaluation of WOFOST model in rice under different regimes of irrigation management. *Water research in agriculture*, 26: 323- 337. (In Persian)
- 28- Sepaskhah A., Tavakoli A. and Mosavi S. F. 2005. Principle and application of deficit irrigation. *National irrigation and drainage committee*, 10021. (In Persian)
- 29- Singh A.K., Tripathy R., and Chopra U. K. 2008. Evaluation of CERES Wheat and CropSyst models for water-nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural Water Management*, 95: 776-786.
- 30- Singh A. 2014. Irrigation planning and management through optimization modelling. *Water Resour Manag* 28: 1-14
- 31- Sharpley A.N., Williams J.R. 1990. EPIC The Erosion Productivity Impact Calculator. 1. Model Documentation. U.S. Department of Agriculture, Technical Bulletin No. 1768.
- 32- Sharma A., Bharat R., Roak K. V., Vittal, P. R., Ramakrishna Y. S. and Amarasinghr U. 2010. Estimating the potential of rainfed agriculture in India: Prospects for water productivity improvements. *Agric Water manage*, 97: 23-30.
- 33- Shahin Rokhsar p and Amiri E. 2016. Evaluating WOFOST Model under Water Limited Conditions for Soybean Cultivars. Simulation of growth and development of plants, Sabz shomal. (In Persian)
- 34- Supit I., Van Diepen C.A., De Wit A.J.W., Kabat P., Baruth B. and Ludwig F. 2010. Recent changes in the climatic yield potential of various crops in European Agricultural System, 103: 683-694.
- 35- Todorovic M. R., Albrizio L., Zivotic M., Abi Saab C. and Steduto P. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST Models in the Simulation of Sunflower Growth under Different Water Regimes. *Agronomy Journal*, 101: 509-521.
- 36- Wang E., Engel T. 2002. Simulation of growth, water and nitrogen uptake of a wheat crop. *Environemt Model. Software*, 17: 387-402.



Evaluation of Plant Input Coefficient of WOFOST in PRD Condition for Sunflower

S.F. Hashemi¹-A. Shahnazai^{2*}- M. Raeni³- A. Ghadami Firouzabadi⁴- E. Amiri⁵

Received: 23-05-2017

Accepted: 02-07-2018

Introduction: This research as reported issimulation study by WOFOST and was focused on traditional methods of deficit irrigation such as terms of percentage in full irrigation conditions or as evaluation of growth and development in certain days after irrigation. WOFOST is the crop growth simulation model was originally developed to simulate crop yield for a single location where weather, soil and crop data are assumed homogeneous and is a member of the family of Wageningen crop models.

Materials and Methods: This research was conducted at the research farm of Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University, in 2012 and 2013, with 5 treatments. The experiments were arranged as randomized complete block design with three replications. The irrigation treatments consisted of full irrigation (FI), regulated deficit (DI75, DI55) and partial root zone drying irrigation (PRD75, PRD55). The WOFOST software was also used to determine the growth and development of crops in compare with measured data on sunflower of Azargol variety. The crop input parameters of the selected models were based on previous field experiments. The soil condition were ranging from sandy loam to clay loam. By this specification FC, PWP and ρ could be calculated. To ensure an accurate simulation of crop growth, phenological parameters for each crop model were adjusted according to the anthesis and maturity dates in the field experiment. In this study, WOFOST model was used to simulate performance under deficit irrigation (50, 75% water requirement compare with full irrigation) and FI. Also, in this research the ability of the last version of WOFOST in simulating of sunflower in DI and PRD in %75 and %55 levels is carried out in contrast to FI so that crop coefficient of sunflower could be calculated and by this, the productivity of yield in Sari agricultural and natural resources research field could be achieved.

Results and Discussion: The results showed that the application of DI75 and PRD75 treatments relative to full irrigation reduced the whole growth period in the years 2012 and 2013, respectively. LAI showed that the model relatively was able to adjust the observed and simulated parameter in contrast to the other parameter (HI, TAGP and TWSO). Also it should be noted that the results of simulation of WOFOST in 2013 is more close to measured data. Totally it could be concluded that DI 55 in 2013 has the best correspondence among observed and simulation data. The results of calibrations showed that the most significant coefficients in WOFOST could be divided into 2 categories: First crop coefficient which depends on weather, coordinates of region and physiologic and phenologicof plant that is fixed among the simulation and second coefficient is irrigation coefficient that is depends on irrigation treatment and their response in development of growth. Also the results showed that by decreasing the volume of water which given to plant, AMAXTB and KDIFTB decreased and adversely EFFTB increased. By using the measured and simulated water balance components of model, with increasing water stress, water productivity base on total irrigation and rainfall (WPI+R) and the water productivity base on irrigated (WPI) of both cultivars decreased and FI water productivity was higher than the treatment under drought stress. Simulated seed yield and total biomass had normalized root mean square error (nRMSE) index less than 10%, coefficient of residual mass (CRM) index near zero, modeling efficiency (ME) about 0.98 and coefficient of determination (R^2) about 0.93. The Effect of different treatments on seed yield, biomass yield, leaf area index and water productivity was highly significant ($P \leq 0.05$). Also the results showed that FI has the highest ET among 2 years cultivating and PRD 55 in 2012 has the lowest ET. The maximum of

1, 2 and 3- PhD student, Associate Professor and Professor, Department of Irrigation, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari

(*- Corresponding Author Email: Aliponh@yahoo.com)

4- Assistant Professor, Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Hamedan, Iran

4- Professor, Department of Irrigation, Lahijan Azad University, Lahijan

crop yield in both years 2012 and 2013 belong to FI with 5313 and 5148 kg. ha⁻¹ respectively, which showed no significant difference relative to PRD75 treatment. This trend could be seen in the other parameter.

Conclusions: Generally our findings showed the WOFOST model provides reasonable accuracy in simulating growth and yield under water limited conditions. It seems that we can use this model for determining optimal strategies in water management and on water scarcity conditions for sunflower cultivation.

Keywords: Extinction Coefficient, Growth Simulation Model, Grain Yield, Water use efficiency