نشریه حفاظت منابع آب و خاک، سال هفتم، شماره سوم، بهار ۱۳۹۷

ISSN 2251-7480

شبیه‌سازی رشد چغندرقند تحت تنش آبی با استفاده از مدل AquaCrop

زهرا سعادتی[۱]، معصومه دلبری[۲*]، مهدی پناهی[۳] و ابراهیم امیری[٤]

۱) دانش‌آموخته دکتری؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده آب و خاک؛ دانشگاه زابل؛ ایران

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

* نویسنده مسئول مکاتبات: mas_delbari@yahoo.com

۳) استادیار پژوهش؛ بخش تحقیقات خاک و آب؛ مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان؛ سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی؛ اصفهان؛ ایران

٤) استاد؛ گروه مهندسی آب؛ دانشکده کشاورزی؛ دانشگاه آزاد اسلامی واحد لاهیجان؛ ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۱/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۰۵

چکیده:

برای افزایش بهره‌وری آب و بهبود مدیریت آب در سطح مزرعه می‌توان از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه به‌عنوان یک ابزار مفید استفاده نمود. در این مطالعه، کارآیی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندرقند و رطوبت خاک تحت شش تیمار آبیاری شامل آبیاری کامل به‌عنوان تیمار شاهد (T1)، رساندن رطوبت خاک در هر آبیاری به حد ظرفیت مزرعه و حذف آبیاری آخر (T2)، آبیاری گیاه به‌میزان ۱۰ درصد بیشتر از تیمار شاهد (T3)، آبیاری گیاه به‌میزان ۱۰ درصد کمتر از تیمار شاهد (T4)، آبیاری گیاه به‌میزان ۲۰ درصد کمتر از تیمار شاهد (T5) و آبیاری گیاه به‌میزان ۳۰ درصد کمتر از تیمار شاهد (T6) ارزیابی شد. آزمایش در منطقه الشتر واقع در استان لرستان در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی طی دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ انجام شد. مدل AquaCrop بر اساس اطلاعات زراعی سال اول آزمایش واسنجی و سال دوم اعتبارسنجی شد. ارزیابی آماری مدل با استفاده از معیارهای ضریب جرم باقی‌مانده‌ها، ریشه میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، شاخص توافق و ضریب تعیین انجام گرفت. بر اساس نتایج، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی و رطوبت خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی به‌ترتیب بین ۵/۱۸ تا ۹/۴۱ و ۹/۹۱ تا ۱۷/۲۳ درصد و در مرحله اعتبارسنجی به‌ترتیب بین ۶/۶۴ تا ۹/۲ و ۱۲/۳۶ تا ۲۵/۷۷ درصد به‌دست آمد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک در مرحله واسنجی به‌ترتیب ۷/۳ و ۸/۶۷ درصد و در مرحله اعتبارسنجی به‌ترتیب ۷/۶۹ و ۹/۸۲ درصد به‌دست آمد. به‌طور کلی نتایج مبین عملکرد خوب مدل AquaCrop در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندرقند و رطوبت خاک تحت رژیم‌های مختلف آبیاری است. لذا استفاده از این مدل در تعیین استراتژی‌های بهینه مدیریت آب در کشت چغندرقند در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد می‌شود.

کلید واژه‌ها: پوشش گیاهی؛ چغندرقند؛ عملکرد؛ کم آبیاری؛ مدل شبیه‌سازی

مقدمه

چغندرقند دارای فصل رشد به نسبت طولانی و نیاز آبی بالا بوده و در اکثر استان‌های کشور کشت می‌گردد. با توجه به اینکه چغندرقند محصولی است که آب زیادی مصرف می‌کند، بنابراین ضروری است که با مدیریت صحیح آب، بهره‌وری مصرف آب گیاه را افزایش داد.

* برگرفته از رساله دکتری

Archive of SID

www.SID.ir

برای نیل به این هدف از مدل‌های شبیه‌ساز رشد گیاه می‌توان به‌عنوان یک ابزار استفاده نمود. مدل‌های گیاهی برای اهداف مختلفی استفاده می‌شوند. به‌طور کلی این مدل‌ها نتایج آزمایشات و تحقیقات کشاورزی را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهند (Steduto *et al.*, 2009). مدل AquaCrop که یک مدل بهره‌وری آب گیاه است توسط FAO توسعه پیدا کرده است (Steduto *et al.*, 2009). این مدل یک مدل فراگیر است، بدان معنی که می‌تواند برای محدوده وسیعی از محصولات زراعی شامل علوفه‌ای، سبزیجات، غلات، میوه‌ای، روغنی و غده‌ای به‌کار رود. مدل AquaCrop یک ابزار قدرتمند و با ارزش برای بهبود مدیریت آب در مزرعه و محاسبه بهره‌وری آب می‌باشد و از دقت و توانایی زیادی برخوردار است. با توجه به افزایش جمعیت جهان و نیاز روزافزون تولیدات کشاورزی و نقش اصلی آب در این تولیدات و از طرفی محدودیت منابع آب، کمبود آب یک عامل مهم در محدود کردن تولید محصول می‌باشد. بنابراین مدل AquaCrop بر پاسخ عملکرد گیاه نسبت به آب تمرکز می‌کند (Steduto *et al.*, 2009).

بسیاری از محققان به واسنجی و پارامترسازی این مدل برای بعضی از گیاهان خاص اقدام کرده‌اند (Hsiao *et al.*, 2009). اولین گیاهی که برای شبیه‌سازی و آزمایش در مدل AquaCrop انتخاب شد، ذرت بود (Hsiao *et al.*, 2009). بر اساس نتایج این تحقیق، بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای ماده خشک حدود ۲۲ درصد، و برای عملکرد دانه حدود ۲٤ درصد به‌دست آمد. دلیل اصلی اختلاف بین نتایج شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عدم دقت در اندازه‌گیری‌ها عنوان گردید. Farahani و همکاران (۲۰۰۹) مدل AquaCrop را با استفاده از تیمارهای آبیاری کامل (۱۰۰٪) و کم آبیاری (٤۰، ٦۰ و۸۰ درصد) بر روی گیاه پنبه در شرایط گرم و خشک و طوفانی مدیترانه واقع در شمال سوریه ارزیابی کردند، نتایج نشان داد در تیمارهای کم آبیاری (٤۰ و٦۰ درصد) عملکرد حدود ۱۵ درصد افزایش پیدا کرده است. Todorovic و همکاران (۲۰۰۹) مدل AquaCrop را با دو مدل CropSyst و WOFOST در شبیه‌سازی رشد آفتابگردان تحت رژیم‌های مختلف آبی در منطقه مدیترانه واقع در جنوب ایتالیا ارزیابی کردند. بر اساس نتایج این تحقیق مدل AquaCrop با وجود نیاز به پارامترهای ورودی کمتر، شبیه‌سازی ماده خشک و عملکرد گیاه را مشابه دو مدل دیگر انجام داده است. Geerts و همکاران (۲۰۰۹) واکنش عملکرد گیاه پیاز را به آب با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بهره‌وری آب تحت شرایط آبیاری کامل در مقایسه با شرایط دیم و کم آبیاری، ۹ درصد کاهش یافته است. نتایج به‌دست آمده برای شبیه‌سازی ماده خشک و عملکرد دانه رضایت‌بخش بود. Araya و همکاران (۲۰۱۰) مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی ماده خشک و عملکرد گیاه جو تحت شرایط کم آبیاری و آبیاری کامل در منطقه‌ای واقع در شمال اتیوپی ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که این مدل ماده خشک را نسبت به عملکرد دانه بهتر شبیه‌سازی کرده است. مقدار خطا بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای ماده خشک بین ٤/۳- تا ۱٤/٦ درصد و برای عملکرد بین ۱۳- تا ۱۵/۱ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین نتایج نشان داد که این مدل می‌تواند برای تعیین زمان بهینه کشت گیاه جو تحت شرایط محدودیت آب استفاده شود. نتایج این مدل نشان داد که امکان به‌دست آوردن عملکرد و ماده خشک بیشتر به‌وسیله به‌کار بردن آب کمتر وجود دارد. Saadati و همکاران (۲۰۱۱) مدل AquaCrop را در شبیه‌سازی عملکرد برنج تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری در یک اقلیم نیمه خشک ارزیابی کردند. بر اساس این تحقیق دامنه تغییرات خطای نسبی شبیه‌سازی عملکرد توسط مدل برای سال واسنجی بین ۰/۱ تا ۷/۸ درصد و برای سال ارزیابی بین ۱۹- تا ۰/۲ درصد به‌دست آمد. Stricevic و همکاران (۲۰۱۱) از مدل AquaCrop برای

Archive of SID
www.SID.ir

شبیه‌سازی عملکرد محصولات ذرت، آفتابگردان و چغندرقند در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی در صربستان استفاده کردند. نتایج نشان داد این مدل می‌تواند در تصمیم‌گیری اولیه و در انتخاب گیاهان با توجه به شرایط کمبود آب مفید باشد. اکبری (۱۳۹۰) با استفاده از مدل شبیه‌سازی AquaCrop بیلان آب خاک و عملکرد محصول گندم را در شبکه آبیاری آبشار اصفهان ارزیابی نمود. نتایج نشان داد که با برنامه‌ریزی صحیح آبیاری به کمک مدل AquaCrop همراه با بهبود مدیریت زراعی و کاهش عمق آب آبیاری اول به میزان ۵۰ درصد، می‌توان ضمن کاهش ۳۸ درصد آب آبیاری، عملکرد گندم و کارآیی مصرف آب را به‌ترتیب ۱۶ و ۷۹ درصد افزایش داد. بابازاده و سرائی تبریزی (۱۳۹۱) به ارزیابی مدل AquaCrop تحت شرایط مدیریت کم آبیاری سویا پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد محصول، تبخیر و تعرق گیاهی و کارآیی مصرف آب سویا عملکرد قابل قبولی دارد. Katerji و همکاران (۲۰۱۳) پارامترهای گیاهی ذرت را در شرایط تنش آبی توسط مدل AquaCrop در ایتالیا شبیه‌سازی کردند. مدل به‌طور مناسبی بیوماس تجمعی روزانه را در شرایط بدون تنش و تنش آبی متوسط شبیه‌سازی کرد، اما عملکرد خوبی در شرایط تنش آبی شدید نداشت. Mebane و همکاران (۲۰۱۳) مدل AquaCrop را در منطقه پنسیلوانیا مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل توانسته است با دقت بالایی رطوبت نیم‌رخ خاک را شبیه‌سازی کند. قربانیان کردآبادی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از مدل AquaCrop، عملکرد و تبخیر- تعرق ذرت علوفه‌ای را شبیه‌سازی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که این مدل در پیش‌بینی وزن تر اندام هوایی ذرت علوفه‌ای بسیار کارآمد است. پیش‌بینی تبخیر- تعرق در طول فصل رشد توسط مدل با مقدار خطای بیشتری همراه بود. گلابی و ناصری (۱۳۹٤) به ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد نیشکر و شوری پروفیل خاک تحت تنش شوری پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد مدل AquaCrop توانایی مناسبی در شبیه‌سازی مقدار عملکرد تحت تنش شوری دارد. هم‌چنین، مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل بیش از مقدار واقعی برآورد شد. محمدی و همکاران (۱۳۹٤) رطوبت و شوری نیم‌رخ خاک را با استفاده از مدل AquaCrop در تیمارهای مختلف کم آبیاری و شوری پیش‌بینی نمودند. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد بر اساس شاخص‌های آماری ارائه شده، دقت مدل AquaCrop در برآورد رطوبت در اعماق و زمان‌های مختلف بیشتر از شوری بود. زندپارسا و همکاران (۱۳۹۵) مقادیر شبیه‌سازی شده رطوبت خاک، ماده خشک و عملکرد دانه گندم زمستانه رقم شیراز را با استفاده از مدل‌های WSM و AquaCrop ارزیابی نمودند. بر اساس نتایج این تحقیق، در مدل WSM مقدار رطوبت خاک در لایه‌های مختلف عمق ریشه خوب برآورد شده، ولی مدل AquaCrop در برآورد آن دقت کمتری داشت. مقادیر برآورد تبخیر- تعرق گیاهی در تیمار آبیاری کامل، در هر دو مدل نزدیک به هم بوده ولی با افزایش تنش رطوبتی، از دقت برآورد مدل AquaCrop کاسته شد. مدل WSM مقدار ماده خشک و عملکرد دانه را با دقت بیشتری نسبت به مدل AquaCrop شبیه‌سازی نمود. Iqbal و همکاران (۲۰۱٤) به‌منظور بررسی عملکرد مدل AquaCrop برای گندم زمستانه، مطالعه‌ای در دشت شمالی چین انجام دادند. در اعتبارسنجی مدل، ریشه میانگین مربعات خطا برای عملکرد دانه و بیوماس به‌ترتیب ۰/۵۸ و ۰/۸۷ تن در هکتار به‌دست آمد. نتایج کلی این مطالعه نشان داد، مدل AquaCrop مدلی معتبر است و می‌تواند با درجه قابل اطمینان از دقت و صحت مدل برای بهینه‌سازی تولید عملکرد دانه گندم زمستانه و نیاز آبی در دشت شمالی چین استفاده گردد. Montoya و همکاران (۲۰۱٦) از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاه سیب‌زمینی تحت شرایط مختلف آبیاری در منطقه‌ای واقع در جنوب شرقی

Archive of SID

www.SID.ir

اسپانیا استفاده نمودند. نتایج نشان داد این مدل برای شبیه‌سازی رشد و توسعه سیب‌زمینی در منطقه مورد مطالعه از دقت قابل قبولی برخوردار است. مقادیر شاخص توافق و ضریب تعیین بالای ۰/۹ به‌دست آمد. Akumaga و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی توانایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت دیم تحت سطوح مختلف نیتروژن در منطقه‌ای واقع در نیجریه پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد مقدار ضریب تعیین، شاخص توافق و ریشه میانگین مربعات خطای نسبی بین عملکرد مشاهده و شبیه‌سازی شده ذرت به‌ترتیب بین ۰/۸۲ تا ۰/۹۹، ۰/۶ تا ۰/۸۸ و ۸ تا ۱۷ درصد تغییر می‌کند. Malik و همکاران (۲۰۱۷) به ارزیابی توانایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، زیست توده و عملکرد ریشه چغندرقند تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و زراعی در منطقه‌ای نیمه خشک واقع در پاکستان پرداختند. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از مدل AquaCrop برای توسعه راهکارهای بهینه مدیریت آب در کشت چغندرقند در مناطق نیمه خشک توصیه می‌شود.

با توجه به اینکه چغندرقند از محصولات استراتژیک کشور و دارای نیاز آبی بالا می‌باشد که تولید آن در بخش کشاورزی بسیار حائز اهمیت است. هم‌چنین با توجه به اینکه تاکنون در خصوص شبیه‌سازی رشد این گیاه با استفاده از مدل AquaCrop در ایران مطالعه‌ای انجام نشده است، لذا هدف از این مطالعه، ارزیابی توانایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندرقند و رطوبت خاک تحت شش تیمار آبیاری مختلف در منطقه الشتر واقع در استان لرستان بود.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در منطقه الشتر واقع در استان لرستان با عرض جغرافیایی ۴۹ ^{o}۳۳ شمالی، طول جغرافیایی ۱۵ ^{o} ۴۸ شرقی و ارتفاع ۱۵۶۷ متر از سطح دریا، در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ انجام شد. اطلاعات مربوط به بارندگی، ساعات آفتابی روزانه، سرعت باد، دما و رطوبت نسبی از ایستگاه هواشناسی منطقه برداشت شد. مقادیر روزانه تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از معادله فائو پنمن- مونتیث توصیف شده توسط Allen و همکاران (۱۹۹۸) و با کمک برنامه ET_O Calculator محاسبه شد (FAO, 2009). در جدول ۱ پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه در طول فصل رشد گیاه (اردیبهشت تا اواسط مهرماه) طی سال‌های ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ ارائه شده است.

اطلاعات خاک محل آزمایش

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش به‌عنوان بخشی از اطلاعات ورودی مدل AquaCrop در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱. پارامترهای هواشناسی در طول فصل رشد

پارامتر هواشناسی	سال	
	۱۳۹۳	۱۳۹۴
میانگین حداقل دمای روزانه (°C)	۹/۴	۹/۷
میانگین حداکثر دمای روزانه (°C)	۳۱/۶	۳۲/۲
میانگین حداقل رطوبت (٪)	۱۶	۱۵/۳
میانگین حداکثر رطوبت (٪)	۷۵	۷۳
میانگین تبخیر- تعرق مرجع (mm/day)	۹/۶۶	۸/۵۵
بارش (mm)	۲۵	۱۳/۱

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. خصوصیات خاک محل آزمایش

سال	عمق (cm)	EC ($dS\ m^{-1}$)	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری خاک ($gr\ cm^{-3}$)	رطوبت ظرفیت زراعی (درصد وزنی)	رطوبت پژمردگی دائم (درصد وزنی)	pH	آهک (٪)	کربن آلی (٪)	فسفر قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم قابل جذب ($mg\ kg^{-1}$)
۱۳۹۳	۰-۳۰	۰/۵۵	۳۸	٤٥	۱۷	Silty clay loam	۱/۳۵	۳۰	۱۳	۷/٦	۳۲	۱/٤	۵/٦	۳٤٥
۱۳۹٤	۰-۳۰	۰/۳	٤۲	٥٤	٤	Silty clay	۱/۲۳	۲۸	۱۰	۷/۸۸	۳۱/٥	۱/۳٦	۸/۲	۲۸۰

جهت تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری، به‌طور تصادفی در چند نقطه از مزرعه نمونه‌برداری خاک توسط مته نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه، خشک شده و بعد از عبور از الک دو میلی‌متری، بافت خاک به روش هیدرومتری تعیین شد. آب مورد استفاده جهت آبیاری مزرعه، دارای pH ۷/۸۵ و هدایت الکتریکی (EC) ۳۸۲ میکرو زیمنس بر سانتی‌متر بود.

عملیات زراعی

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با شش تیمار و سه تکرار، در دو سال زراعی ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ انجام شد. تیمارهای آزمایش شامل T_1 (شاهد): آبیاری کامل گیاه با رساندن رطوبت خاک در هر آبیاری به حد ظرفیت مزرعه (رابطه ۱)، T_2: رساندن رطوبت خاک در هر آبیاری به حد ظرفیت مزرعه و حذف آبیاری آخر، T_3: آبیاری گیاه به‌میزان ۱۰ درصد بیشتر از شاهد، T_4: آبیاری گیاه به‌میزان ۱۰ درصد کمتر از شاهد، T_5: آبیاری گیاه به‌میزان ۲۰ درصد کمتر از شاهد و T_6: آبیاری گیاه به‌میزان ۳۰ درصد کمتر از شاهد بود.

در تیمار شاهد عمق آب آبیاری در هر نوبت با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید (علیزاده، ۱۳۸۵):

$$I_n = \frac{(FC-a)*D*BD}{100} \qquad (۱)$$

که در این رابطه I_n عمق خالص آب آبیاری (میلی‌متر)، D عمق ریشه (میلی‌متر)، BD جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب)، a رطوبت خاک قبل از آبیاری (درصد جرمی) و FC رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه (درصد جرمی) هستند.

در این آزمایش، کشت چغندرقند به‌صورت ردیفی (با فاصله ردیف‌ها ٦۰ سانتی‌متر) انجام شد. اندازه کرت آزمایشی ۵ متر در ۱۰ متر، طول ردیف‌های کاشت ۱۰ متر و شیوه آبیاری از نوع آبیاری سطحی و به‌صورت جویچه‌ای بود و منبع آب از کانال آب تأمین گردید. طول دوره رشد چغندرقند از اردیبهشت تا مهرماه بود. تاریخ کاشت در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹٤ به‌ترتیب ۳۰ فروردین و یک اردیبهشت و تاریخ برداشت به‌ترتیب ۱۲ مهر و شش مهر بود. دبی ورودی با استفاده از لوله اریفیس اندازه‌گیری و زمان آبیاری هر تیمار به‌دقت یادداشت و کنترل شد و تاریخ‌های آبیاری نیز یادداشت گردید. رطوبت خاک قبل از هر آبیاری به روش وزنی اندازه‌گیری و میزان تخلیه رطوبت خاک مشخص شد. عمق آب آبیاری بر اساس آن و با توجه به تیمارهای ذکر شده در مقاله محاسبه و اعمال گردید. برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس دور آبیاری میانگین دو هفته یکبار و بر اساس تخلیه رطوبت به میزان حدود ۵۰ درصد رطوبت قابل استفاده در تیمار شاهد صورت گرفت. در جدول ۳ مقادیر مجموع آب مصرفی تیمارها در طی دو سال اجرای آزمایش آورده شده است. تا زمان استقرار کامل گیاه تمام تیمارها یکسان آبیاری شدند، و سپس تیمارهای آبیاری تا پایان فصل رشد چغندرقند اعمال گردید.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۳. مجموع آب مصرفی (میلی‌متر) تیمارهای مختلف آبیاری در طی دو سال اجرای طرح

تیمار آبیاری	سال	
	۱۳۹۳	۱۳۹٤
T1	۱۲۰٦	۱۱٤٤
T2	۱۰۰۷	۱۰۰۱
T3	۱۲۹٤	۱۲۲٦
T4	۱۱۰۲	۱۰٦۳
T5	۱۰۳۰	۹۸۱
T6	۹٤۲	۸۹۹

T_1 (شاهد): آبیاری کامل گیاه با رساندن رطوبت خاک در هر آبیاری به حد ظرفیت مزرعه، T_2: رساندن رطوبت خاک در هر آبیاری به حد ظرفیت مزرعه و حذف آبیاری آخر، T_3: آبیاری گیاه به‌میزان ۱۰ درصد بیشتر از شاهد، T_4: آبیاری گیاه به‌میزان ۱۰ درصد کمتر از شاهد، T_5: آبیاری گیاه به‌میزان ۲۰ درصد کمتر از شاهد، T_6: آبیاری گیاه به‌میزان ۳۰ درصد کمتر از شاهد

در طول فصل رشد چغندرقند و در انتهای فصل، نمونه‌های گیاهی از هر تیمار برداشت و برای اندازه‌گیری شاخص سطح برگ و وزن ماده خشک گیاهی به آزمایشگاه منتقل گردید. سطح برگ مربوط به هر تیمار در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه اندازه‌گیری سطح برگ (ساخت شرکت Delta-T) اندازه‌گیری شد. هم‌چنین در آزمایشگاه پس از خشک کردن گیاه در آون، وزن خشک برگ، ساقه و غده مربوط به هر تیمار اندازه‌گیری شد.

توصیف مدل AquaCrop

این مدل از معادله Doorenbos و Kassam (۱۹۷۹) از طریق تفکیک کردن (الف) تبخیر- تعرق واقعی (ET_a) به تبخیر از سطح خاک (E_s) و تعرق از سطح گیاه زراعی (T_a) و (ب) عملکرد نهایی محصول (Y) به ماده خشک (B) و شاخص برداشت (HI) استنتاج شده است:

$$\left(\frac{Y_x-Y_a}{Y_x}\right) = k_y\left(\frac{ET_x-ET_a}{ET_x}\right) \qquad (۲)$$

که در آن Y_x حداکثر عملکرد گیاه زراعی (تن در هکتار)، Y_a عملکرد واقعی گیاه زراعی (تن در هکتار)، ET_x حداکثر تبخیر- تعرق (سانتی‌متر)، ET_a تبخیر- تعرق واقعی (سانتی‌متر) و K_y فاکتور تناسب بین افت عملکرد نسبی و کاهش نسبی در میزان تبخیر- تعرق است.

تفکیک عملکرد نهایی محصول به ماده خشک و شاخص برداشت سبب می‌شود تا بتوان به روشنی اثر محیط را بر روی ماده خشک و شاخص برداشت مشخص کرد. در حقیقت با استفاده از تفکیک اثر محیط بر روی ماده خشک و شاخص برداشت می‌توان اثرات نامطلوب تنش آب را بر روی ماده خشک و شاخص برداشت به خوبی شناسایی کرد. در این مدل ارتباط نرخ رشد ماده خشک با تعرق از طریق معادله زیر بیان می‌شود (Todorovic *et al.*, 2009):

$$AGB = WP \times T_c/ET_o \qquad (۳)$$

که در این رابطه AGB نرخ رشد ماده خشک روی سطح زمین (گرم بر مترمربع)، WP بهره‌وری آب (گرم بر مترمربع)، T_C تعرق گیاه (میلی‌متر) و ET_o تبخیر- تعرق مرجع (میلی‌متر) هستند.

در مدل AquaCrop به‌جای شاخص سطح برگ (LAI) از روند توسعه‌ی پوشش گیاهی (Canopy cover) استفاده می‌شود، برای محاسبه روند توسعه‌ی پوشش گیاهی، ابتدا سطح برگ (LA) در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. بر اساس سطح برگ، شاخص سطح برگ محاسبه شد، سپس با استفاده از رابطه‌ی زیر روند

Archive of SID
www.SID.ir

توسعه‌ی پوشش گیاهی محاسبه گردید (Ritchie, 1972; Ritchie *et al.*, 1985; Belmans *et al.*, 1983):

$$CC = 1\text{-}\exp^{(-K*LAI)} \qquad (٤)$$

در این معادله CC پوشش گیاهی، K ضریب خاموشی و LAI شاخص سطح برگ (سانتی‌متر مربع بر سانتی‌متر مربع) هستند. مقدار ضریب خاموشی برای چغندرقند ۰/٦ است.

معیارهای ارزیابی مدل

ابتدا با استفاده از رابطه ضریب حساسیت (رابطه ۵)، آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی مدل AquaCrop انجام گردید و پارامترهایی که بیشترین تأثیر را روی نتایج (داده‌های خروجی) حاصل از شبیه‌سازی مدل دارند، مشخص شد.

$$S_c = \frac{\frac{\Delta W}{\overline{W}}}{\frac{\Delta P}{\overline{P}}} \qquad (۵)$$

در رابطه فوق، S_c ضریب حساسیت بدون بعد، ΔW اختلاف مقدار پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، $\overline{W}$ متوسط پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، ΔP اختلاف مقادیر پارامتر ورودی و $\overline{P}$ متوسط مقادیر ورودی یک پارامتر به مدل می‌باشد. برای استفاده از رابطه ۵ برای تعیین آنالیز حساسیت مدل، دامنه تغییرات ضریب حساسیت توسط Liu و همکاران (۲۰۰۷) و Heng و همکاران (۲۰۰۹) پیشنهاد شده است (جدول ٤). جهت انجام تحلیل حساسیت، در هر نوبت اجرای مدل AquaCrop، یکی از پارامترهای ورودی به مقدار ۲۵+ درصد تغییر داده شده و بقیه پارامترها ثابت نگه داشته شدند و مدل با استفاده از شرایط جدید اجرا گردید.

پس از انجام آنالیز حساسیت و آماده‌سازی اطلاعات ورودی مدل در قالب فایل‌های اطلاعات هواشناسی، بارندگی، تبخیر- تعرق، آبیاری، اطلاعات گیاه و اطلاعات خاک، مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده‌ی عملکرد ریشه و ماده خشک برای سال ۱۳۹۳ واسنجی شد و اعتبارسنجی مدل توسط داده‌های سال ۱۳۹٤ انجام گرفت. با تغییر ضرایب واسنجی مدل و بر اساس بهترین تطابق نتایج خروجی، به‌نحوی که بین مقادیر عملکرد ریشه و ماده خشک اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مدل حداقل اختلاف وجود داشته باشد، با سعی و خطا ضرایب واسنجی به‌دست آمد.

بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و با استفاده از معیارهای ضریب جرم باقی‌مانده‌ها[1] (CRM)، ریشه میانگین مربعات خطا[2] (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده[3] (NRMSE)، شاخص توافق[4] (d) و ضریب تعیین (R^2) ارزیابی آماری مدل انجام شد. مقادیر RMSE و NRMSE هر چه به صفر نزدیک‌تر باشند، نشان دهنده‌ی این مطلب است که مدل شبیه‌سازی را بهتر انجام داده است. ضریب تعیین معیار پراکنش بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده است.

ضریب جرم باقی‌مانده‌ها نشان‌دهنده تمایل مدل برای بیش‌برآورد یا کم‌برآورد در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها است. شاخص توافق یک پارامتر توصیفی است که بین صفر تا یک تغییر می‌کند. مقدار یک یعنی تطابق خوبی بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده وجود دارد. این پارامتر برای ارزیابی اجرای مدل‌ها به‌کار می‌رود (Singh *et al.*, 2008). اگر مقدار NRMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی بسیار خوب، اگر بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد باشد، شبیه‌سازی خوب، اگر بیشتر از ۲۰ درصد و کمتر از ۳۰ درصد باشد، شبیه‌سازی نسبتا خوب و با NRMSE بالای ۳۰ درصد شبیه‌سازی ضعیف ارزیابی می‌شود (Soler *et al.*, 2007).

[1]. *Coefficient of Residual Mass*
[2]. *Root Mean Square Error*
[3]. *Normalized Root Mean Square Error*
[4]. *Index of Agreement*

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٤. طبقه‌بندی پیشنهاد شده برای دامنه تغییرات ضریب حساسیت (Liu *et al*., 2007; Heng *et al*., 2009)

دامنه تغییرات	S_c= ۰	۰< S_c <۰/۳	۰/۳< S_c <۱/۵	S_c >۱/۵
شدت حساسیت	بدون حساسیت	حساسیت کم	حساسیت متوسط	حساسیت زیاد

$$CRM = \frac{[\sum_{i=1}^{n} O_i - \sum_{i=1}^{n} S_i]}{\sum_{i=1}^{n} O_i} \quad (٦)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2} \quad (٧)$$

$$NRMSE = [1/n \sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2]^{0.5} (\frac{100}{MO}) \quad (٨)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|S_i'|+|O_i'|)^2} \quad (٩)$$
$$O_i' = O_i - \bar{O}\ , S_i' = S_i - \bar{S}$$

در روابط فوق، S_i و O_i به‌ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، $\bar{S}$ و $\bar{O}$ به‌ترتیب متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده، MO میانگین مقادیر مشاهده شده و n تعداد مشاهدات است.

نتایج و بحث

آنالیز حساسیت مدل AquaCrop

مقادیر حساسیت محاسبه شده برای تعدادی از پارامترهای ورودی مدل AquaCrop در جدول ۵ ارائه شده است. دامنه تغییرات ضریب حساسیت نشان داد که مدل نسبت به پارامترهای ضریب کاهش پوشش گیاهی، پوشش گیاهی اولیه، زمان جوانه‌زنی، زمان از کاشت تا حداکثر رشد ریشه، زمان رسیدگی فیزیولوژیکی، فاکتور شکل توصیف کننده توسعه منطقه ریشه، حد بالا و پایین مربوط به توسعه پوشش گیاهی و حد بالای مربوط به بسته شدن روزنه‌ها حساسیت خیلی کمی دارد. بنابراین خطای حاصل از اندازه‌گیری آن داده‌ها در سطح مزرعه قابل اغماض می‌باشد. هم‌چنین حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات حداکثر پوشش گیاهی، Kc، بهره‌وری استاندارد شده‌ی آب گیاه، شاخص برداشت و زمان از کاشت تا حداکثر پوشش گیاهی بیشتر از سایر پارامترها بود.

جدول ۵. ضریب حساسیت برخی پارامترهای ورودی مدل AquaCrop

پارامترهای ورودی مدل	مقدار S_c در حالت ۲۵٪+	درجه حساسیت
حداکثر پوشش گیاهی (٪)	۰/٦۹	متوسط
ضریب کاهش پوشش گیاهی (%/day)	۰/۲۱	کم
بهره‌وری استاندارد شده‌ی آب گیاه ($g\ m^{-2}$)	۰/۹۸	متوسط
شاخص برداشت مرجع (٪)	۱/۰۰	متوسط
پوشش گیاهی اولیه (٪)	۰/۰۳	کم
زمان جوانه‌زنی	۰/۰۱	کم
زمان از کاشت تا حداکثر رشد ریشه	۰/۰۲	کم
زمان از کاشت تا حداکثر پوشش گیاهی	۰/٤۹	متوسط
زمان رسیدگی فیزیولوژیکی	۰/۱۰	کم
فاکتور شکل توصیف کننده توسعه منطقه ریشه	۰/۰۱	کم
Kc	۰/٤۸	متوسط
حد بالای مربوط به توسعه پوشش گیاهی	۰/۰۱	کم
حد پایین مربوط به توسعه پوشش گیاهی	۰/۱٦	کم
حد بالای مربوط به بسته شدن روزنه‌ها	۰/۱۲	کم
حد بالای مربوط به پیری پوشش گیاهی	۰/۰۰	بدون حساسیت

Archive of SID
www.SID.ir

نتایج تحقیقات بابازاده و سرائی تبریزی (۱۳۹۱) در آنالیز حساسیت مدل AquaCrop نشان داد که مدل نسبت به پارامترهای زمان سبز شدن بذرها، طول زمان گلدهی، مرحله رشد سبزینه‌ای، تقویم کاشت تا حداکثر رشد ریشه، تراکم کشت و تقویم کاشت تا گلدهی حساسیت خیلی کمی دارد. اما حساسیت مدل نسبت به رشد پوشش تاجی گیاه (CGC)، بهره‌وری آب نرمال شده (WP)، شاخص برداشت (HI) و زمان گلدهی و رطوبت خاک بیشتر از سایر پارامترها است. به‌طور کلی مقایسه نتایج مربوط به آنالیز حساسیت در این پژوهش با تحقیقات سایر محققین نشان‌دهنده این است که پارامترهایی که مدل AquaCrop نسبت به آن‌ها حساسیت بیشتری دارد مانند حداکثر پوشش گیاهی، بهره‌وری استاندارد شده‌ی آب گیاه، شاخص برداشت و زمان گلدهی باید مورد واسنجی قرار گیرند. هم‌چنین بایستی این داده‌ها با دقت بیشتری اندازه‌گیری شوند زیرا در غیر این صورت خطای قابل توجهی در نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های مدل به‌وجود می‌آید. سایر پارامترها که مدل نسبت به آن‌ها حساسیت کمی دارد باید برابر با همان مقادیر پیش‌فرض توصیه شده در دستورالعمل مدل در نظر گرفته شوند.

ضرایب واسنجی به‌صورت مقادیر گزارش شده در جدول ٦ ارائه شده است. در عملیات واسنجی بهترین مقدار برای برخی از ضرایب مانند حد بالای مربوط به توسعه پوشش گیاهی و یا حد بالای مربوط به پیری پوشش گیاهی برابر همان مقادیر پیش‌فرض توصیه شده در دستورالعمل مدل به‌دست آمد. در واقع، مقادیر پیش‌فرض این پارامترها بهینه است و به اصلاح و واسنجی نیاز ندارد.

ارزیابی مدل AquaCrop با شاخص‌های آماری

مقایسه مقادیر عملکرد ریشه و ماده خشک مشاهده شده و مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی آن‌ها توسط مدل AquaCrop طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی با خط یک به یک در شکل ۱ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، مدل AquaCrop توانسته شبیه‌سازی عملکرد ریشه را بهتر از ماده خشک انجام دهد، به‌طوری‌که ضریب تعیین مربوط به عملکرد ریشه و ماده خشک چغندرقند به‌ترتیب برابر با ۰/۸۵ و ۰/۷٤ به‌دست آمد. دقت مدل در

شبیه‌سازی عملکرد بیشتر از ماده خشک بوده که البته تفاوت آن‌ها خیلی زیاد نبود که می‌تواند ناشی از خطا در اندازه‌گیری‌ها باشد. شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک در مرحله اعتبارسنجی در اکثر تیمارها بیشتر از مقدار مشاهده شده بوده است. نقاط با خطای بیشتر، عمدتاً مربوط به تیمار با تنش شدیدتر است. نتایج نشان داد با اعمال تنش آبی، مقدار عملکرد ریشه و ماده خشک کاهش یافته است.

نتایج پارامترهای آماری مربوط به شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک چغندرقند با استفاده از مدل AquaCrop، در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به نتایج، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی کمتر از ۱۰ درصد به‌دست آمد، بنابراین شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک چغندرقند به‌خوبی انجام گرفته است. هم‌چنین، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای محاسبه شده برای عملکرد ریشه و ماده خشک در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی کمتر از ۱۰ درصد مقدار میانگین مشاهده شده به‌دست آمد. مقادیر CRM نیز در هر دو مرحله برای عملکرد ریشه و ماده خشک نزدیک به صفر بود که دقت زیاد مدل را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، این نتایج مبین توانایی خوب مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک چغندرقند در منطقه مورد مطالعه بود. مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص توافق برای عملکرد ریشه نسبت به ماده خشک کارائی مناسب‌تری را نشان دادند.

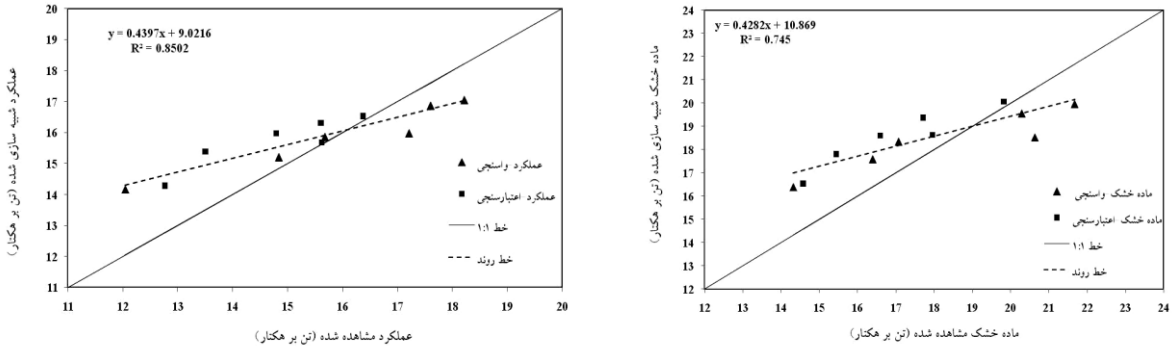
Archive of SID

www.SID.ir

جدول ٦. واسنجی پارامترهای گیاهی در مدل **AquaCrop** برای چغندرقند

پارامتر	مقدار	واحد
دمای پایه رشد	۵	سانتی‌گراد
دمای بالا	۳۰	سانتی‌گراد
پوشش گیاهی اولیه	۰/۱	درصد
ضریب رشد پوشش گیاهی	۱۳/٦	درصد در روز
حداکثر پوشش گیاهی	۹۷	درصد
ضریب کاهش پوشش گیاهی	۳/۷	درصد در روز
بهره‌وری استاندارد شده‌ی آب گیاه	۱۸	گرم بر مترمربع
شاخص برداشت مرجع	۷۲	درصد
زمان از کاشت تا جوانه‌زنی	٤	روز
زمان از کاشت تا حداکثر عمق ریشه	٥٤	روز
زمان از کاشت تا شروع پیری	۱۱۵	روز
Kc	۱/۱	–
تراکم کشت	۱۰۰۰۰۰	گیاه در هکتار
حد بالای مربوط به توسعه پوشش گیاهی	۰/۲۵	–
حد پایین مربوط به توسعه پوشش گیاهی	۰/٦	–
ضریب شکل منحنی مربوط به تنش توسعه برگ	٤	–
حد بالای مربوط به بسته شدن روزنه‌ها	۰/۵۵	–
ضریب شکل منحنی مربوط به تنش روزنه	۳/۵	–
حد بالای مربوط به پیری پوشش گیاهی	۰/۷۵	–
ضریب شکل منحنی مربوط به تنش پیری پوشش گیاهی	۲/۵	–
ضریب مربوط به کاهش شاخص برداشت در اثر تنش آب متأثر از بسته شدن روزنه‌ها در طول شکل‌گیری عملکرد	none	–
ضریب مربوط به افزایش شاخص برداشت در اثر تنش آب متأثر از توسعه برگ در طول شکل‌گیری عملکرد	۳/۹	–
تنش تهویه	۵	درصد

مقادیر شاخص توافق برای عملکرد ریشه به عدد یک نزدیک‌ترند که نشان‌دهنده تطابق بهتر مقادیر عملکرد ریشه شبیه‌سازی شده با مقادیر متناظر مشاهده شده آن‌هاست. دامنه پایین‌تر مقادیر RMSE و NRMSE عملکرد ریشه نسبت به ماده خشک نیز نشان‌دهنده این مطلب است که مدل AquaCrop عملکرد ریشه را در مقایسه با ماده خشک بهتر شبیه‌سازی کرده است (جدول ۷).



شکل ۱. مقادیر شبیه‌سازی شده‌ی عملکرد ریشه و ماده خشک چغندرقند در مقابل مقادیر مشاهده شده

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۷. معیارهای ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک چغندرقند

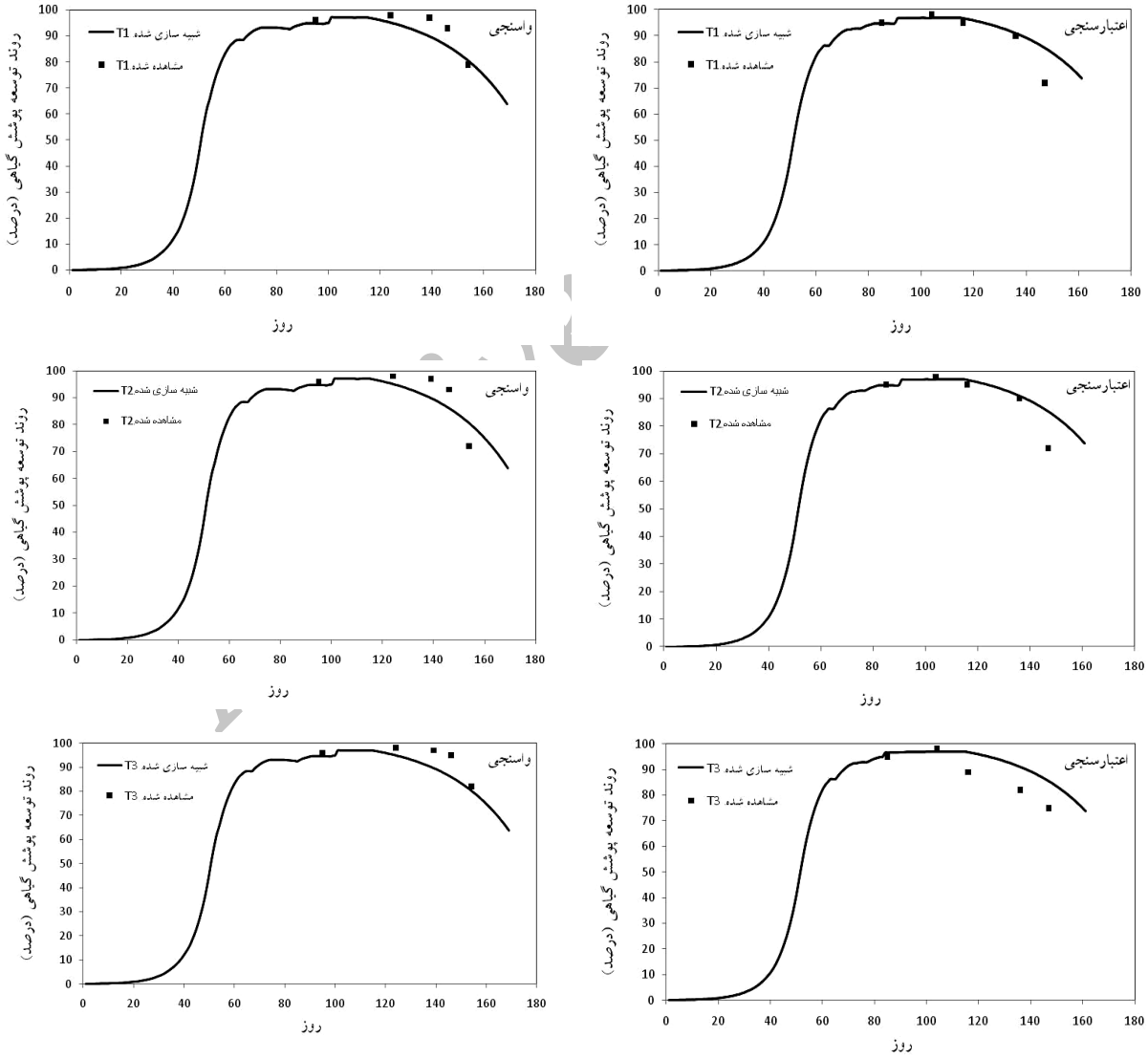
مرحله	ماده خشک				عملکرد ریشه			
	RMSE ($t\ ha^{-1}$)	CRM	NRMSE (%)	d	RMSE ($t\ ha^{-1}$)	CRM	NRMSE (%)	d
واسنجی	۱/۵۹	۰/۰۰۰۱	۸/٦۷	۰/۸۲	۱/۱٦	۰/۰۰٤۹	۷/۳	۰/۸٦
اعتبارسنجی	۱/٦۷	−۰/۰۸۷	۹/۸۲	۰/٦۵	۱/۱۳	−۰/۰٦۲	۷/٦۹	۰/٦۷

مقایسه نتایج تحقیقات سایر محققان با مقادیر به‌دست آمده در این تحقیق نیز مؤید این مطلب است که مدل AquaCrop توانسته است عملکرد ریشه و ماده خشک چغندرقند در منطقه مورد مطالعه را نیز به‌خوبی شبیه‌سازی نماید. در تحقیقات Heng و همکاران (۲۰۰۹) در شبیه‌سازی ماده خشک و عملکرد گیاه ذرت مقدار ریشه میانگین مربعات خطا به‌ترتیب بین ۰/٤٦ تا ٦/۵۱ و ۰/٦۵ تا ۱/۵۷ تن در هکتار به‌دست آمد. در تحقیقات Geerts و همکاران (۲۰۰۹) در شبیه‌سازی واکنش عملکرد گیاه پیاز به آب با استفاده از مدل AquaCrop، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای عملکرد و ماده خشک شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای سال واسنجی به‌ترتیب ۱۹ و ۱٦ درصد و برای سال ارزیابی به‌ترتیب ۱۸ و ۱٦ درصد به‌دست آمد. در تحقیقات گلابی و ناصری (۱۳۹٤) در ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد نیشکر، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای عملکرد ۸ درصد و ضریب باقی‌مانده ۰/۰۹− برآورد شد. در تحقیقات ابراهیمی و همکاران (۱۳۹٤) در شبیه‌سازی رشد ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آب و نیتروژن با مدل AquaCrop، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای تخمین عملکرد دانه در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۷/۸۹ و ٤/۸٦ درصد و برای تخمین ماده خشک به‌ترتیب ۱۸/۷ و ۲۰/۹ درصد محاسبه شد. علاوه بر شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک، رشد پوشش گیاهی چغندرقند نیز به کمک مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد. مقایسه روند توسعه پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده چغندرقند در تیمارهای مختلف آبیاری طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی در شکل ۲ و شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق شکل‌های ۲ و ۳، در تمام تیمارها ابتدا پوشش گیاهی روندی افزایشی داشته و به بیشترین مقدار می‌رسد و پس از آن تا چند روز تقریباً ثابت می‌ماند و سپس تا انتهای فصل رشد روندی کاهشی می‌یابد. سطح زیر منحنی‌ها، مبین درصد پوشش سبز است. همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، اعمال تنش آبی به‌علت کاهش تولید و رشد برگ‌ها و افزایش پیری آن‌ها، باعث کاهش روند توسعه پوشش گیاهی شده است که نتایج شبیه‌سازی با مدل AquaCrop نیز نشان داد که مقادیر شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی توسط مدل نیز تحت تنش آبی کاهش یافته است. در سطوح با تنش آبی شدیدتر خطای پیش‌بینی روند توسعه پوشش گیاهی افزایش یافته است. پارامترهای آماری ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی برای هر یک از تیمارها در جدول ۸ ارائه شده است. بر اساس این نتایج، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی بین ۵/۱۸ تا ۹/٤۱ درصد و در مرحله اعتبارسنجی بین ٦/٦٤ تا ۹/۲ درصد به‌دست آمد. چون مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در تمام تیمارها کمتر از ۱۰ درصد بوده، شبیه‌سازی به‌خوبی انجام گرفته است. هم‌چنین مقدار شاخص توافق در این شبیه‌سازی در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی بین ۰/۷٦ تا ۰/۸۸ و در مرحله اعتبارسنجی بین ۰/٦۱ تا ۰/۸۱ به‌دست آمد. این نتایج مبین توانایی خوب مدل AquaCrop در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی چغندرقند در منطقه مورد

Archive of SID

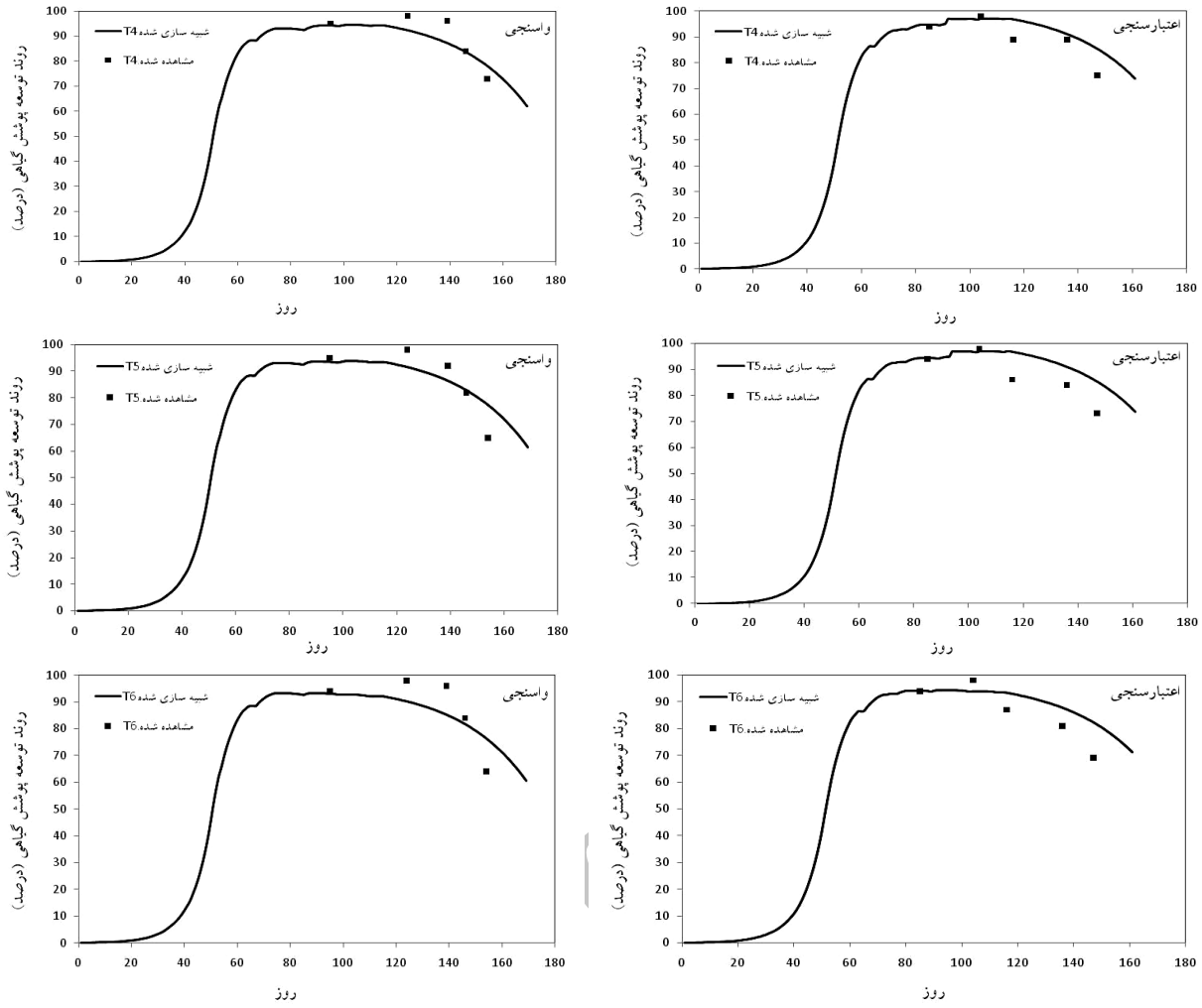
www.SID.ir

مطالعه می‌باشد. در تحقیقات توکلی و همکاران (۱۳۹۲) در بررسی موازنه آب خاک، تاریخ کاشت و عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده برای درصد پوشش گیاهی ۸/۵۳ درصد به‌دست آمد. در تحقیقات ابراهیمی و همکاران (۱۳۹٤) در شبیه‌سازی رشد ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آب و نیتروژن با مدل AquaCrop، متوسط ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده‌ی تخمین پوشش گیاهی (کل تیمارها) در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۲۲/۷۹ و ۲۱ درصد محاسبه شد. هم‌چنین در تحقیقات Malik و همکاران (۲۰۱۷) در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، زیست توده و عملکرد ریشه چغندرقند تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و زراعی با مدل AquaCrop، متوسط ریشه میانگین مربعات خطای تخمین پوشش گیاهی برای تمام تیمارها بین ۳ و ۱٦/۸۹ درصد و شاخص توافق بین ۰/۸٤ و ۰/۹۷ به‌دست آمد. مقایسه این نتایج با مقادیر به‌دست آمده در این تحقیق، نشان داد که مدل AquaCrop توانسته روند توسعه پوشش گیاهی چغندرقند در منطقه مورد مطالعه را نیز به‌خوبی شبیه‌سازی نماید.



شکل ۲. روند توسعه پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده چغندرقند طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی (تیمارهای T_1 تا T_3)

www.SID.ir



شکل ۳. روند توسعه پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده و مشاهده شده چغندرقند طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی (تیمارهای T_4 تا T_6)

جدول ۸. معیارهای ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی چغندرقند

مرحله	تیمار	روند توسعه پوشش گیاهی				
		R^2	RMSE	CRM	NRMSE (%)	d
واسنجی	T1	۰/۷۸	٤/۷۹	۰/۰۳۷	۵/۱۸	۰/۸۵
	T2	۰/۷۵	٦/۰۵	۰/۰۲۲	٦/٦٤	۰/۸٤
	T3	۰/۷۲	۵/٤۳	۰/۰٤۷	۵/۸۰	۰/۷٦
	T4	۰/۸۳	۵/۱۸	۰/۰۲	۵/۸۱	۰/۸۸
	T5	۰/۸۸	٦/۷۸	−۰/۰۰۰۵	۷/۸۵	۰/۸۵
	T6	۰/۷٤	۸/۲۰	۰/۰۲۳	۹/٤۱	۰/۷۹
اعتبارسنجی	T1	۰/۹۳	٦/۰۸	−۰/۰۳۳	٦/۷٦	۰/۸۰
	T2	۰/۹۳	٦/۰۸	−۰/۰۳	٦/۷۵	۰/۸۱
	T3	۰/۸۸	۷/۱۲	−۰/۰٦۳	۸/۱۱	۰/٦۹
	T4	۰/۷۹	۵/۹۰	−۰/۰٤٤	٦/٦٤	۰/۷۵
	T5	۰/۷۵	۸/۰۰	−۰/۰٦۸	۹/۲۰	۰/٦۱
	T6	۰/۹۰	۷/٤۷	−۰/۰۵۱	۸/۷۱	۰/۷٤

www.SID.ir

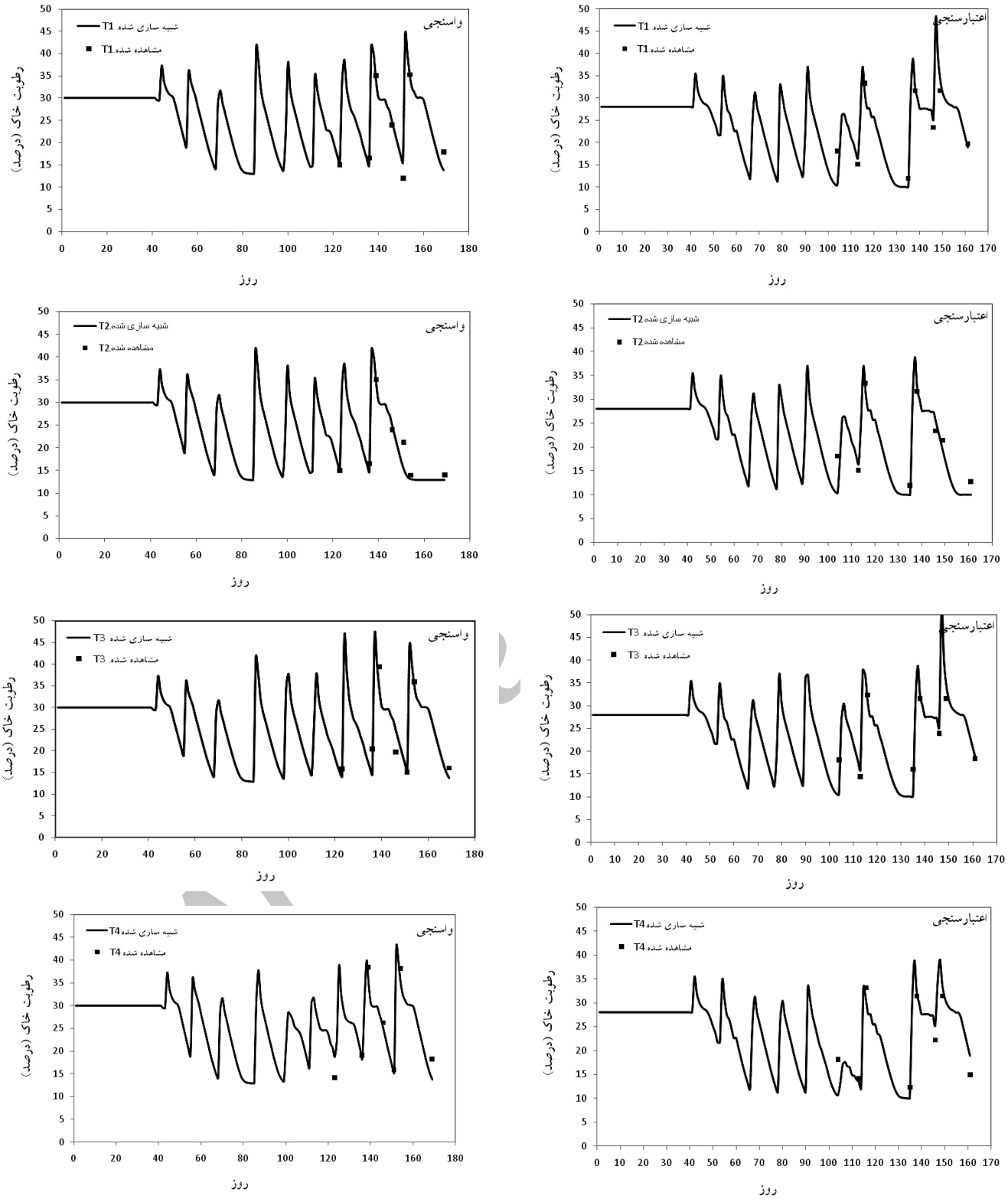
مقایسه رطوبت خاک مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در تیمارهای مختلف آبیاری طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی در شکل ٤ و شکل ٥ نشان داده شده است. نتایج پارامترهای آماری مربوط به شبیه‌سازی رطوبت خاک با استفاده از مدل AquaCrop در جدول ۹ ارائه شده است. با توجه به نتایج، مدل توانسته است روند تغییرات رطوبت خاک را در عمق ۳۰ سانتی-متری با دقت مناسبی شبیه‌سازی نماید. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی رطوبت خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی بین ۹/۹۱ تا ۱۷/۲۳ درصد و در مرحله اعتبارسنجی بین ۱۲/۳٦ تا ۲٥/۷۷ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین مقدار شاخص توافق در این شبیه‌سازی در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی بین ۰/۹٤ تا ۰/۹۸ و در مرحله اعتبارسنجی بین ۰/۷۹ تا ۰/۹۷ به‌دست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود به‌جز تیمار آبیاری گیاه به‌میزان ۳۰ درصد کمتر از شاهد (T6) که از دقت کمتری در شبیه‌سازی رطوبت خاک برخوردار بود در بقیه تیمارها نتایج مطلوب بود. دقت بالای مدل AquaCrop در شبیه‌سازی رطوبت خاک در تحقیقات سایر محققین نیز تأیید شده است. Andarzian و همکاران (۲۰۱۱) طی پژوهشی گزارش کردند که مدل AquaCrop به‌خوبی توانسته است رطوبت آب خاک، زیست توده محصول و عملکرد را شبیه‌سازی نماید. Mkhabela و Bullock (۲۰۱۲) پس از شبیه‌سازی رطوبت خاک با استفاده از مدل AquaCrop در کانادا گزارش کردند که مدل ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی رطوبت خاک می‌باشد. به‌طوری‌که مقدار شاخص توافق ۰/۹۹ به‌دست آمد.

هم‌چنین نتایج نشان داد، مدل در تمامی تیمارهای آبیاری (به‌جز T6 در سال ۱۳۹۳) مقادیر رطوبت را کمتر برآورد نموده است. Mebane و همکاران (۲۰۱۳) گزارش کردند که مدل AquaCrop، رطوبت خاک را در لایه‌های مختلف کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده، برآورد می‌کند. اما Zeleke و همکاران (۲۰۱۱) پس از ارزیابی مدل AquaCrop گزارش کردند که مدل مقادیر رطوبت خاک را در عمق ۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متری در بیشتر مواقع در طول فصل رشد بیش‌برآورد می‌کند.

جدول ۹. معیارهای ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی رطوبت خاک

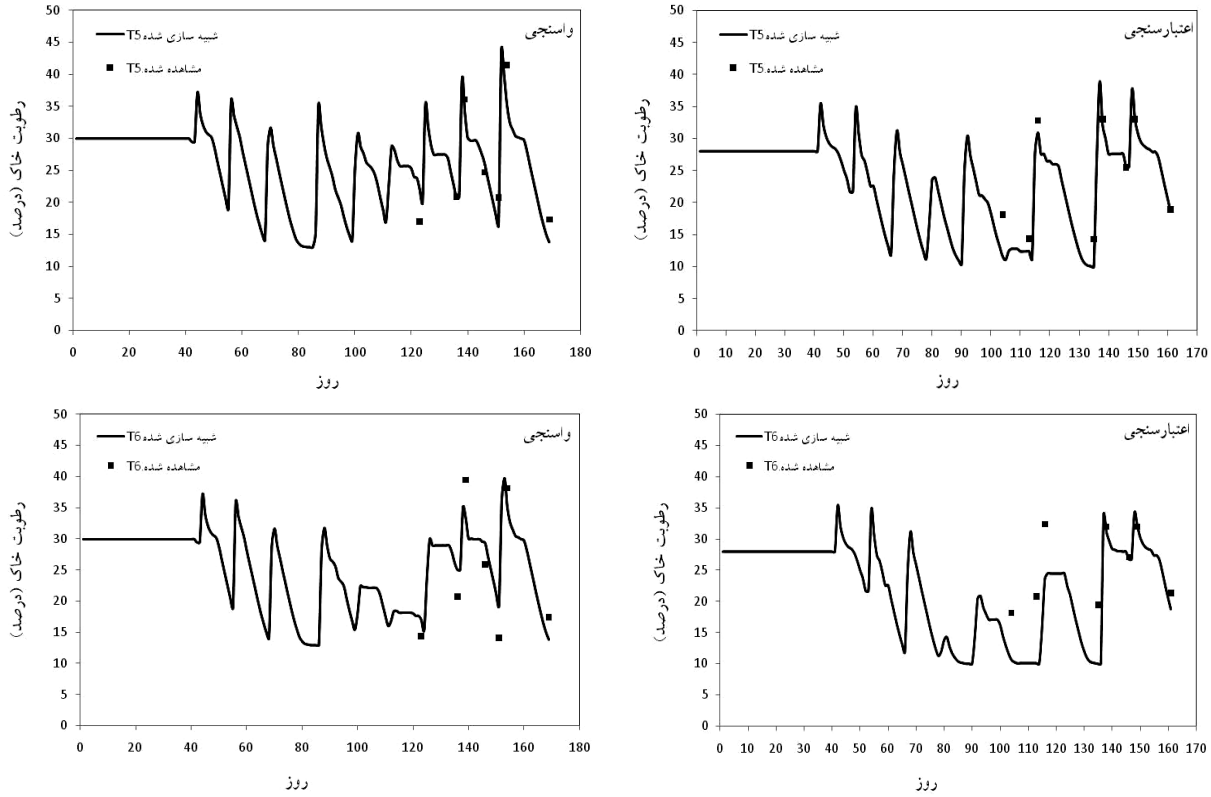
مرحله	تیمار	رطوبت خاک				
		R^2	RMSE	CRM	NRMSE (%)	d
واسنجی	T1	۰/۹٤	۲/۲۰	۰/۰۱۱	۹/۹۱	۰/۹۸
	T2	۰/۹۳	۲/۳٥	۰/۰٦۱	۱۱/۷۸	۰/۹۷
	T3	۰/۸۷	۳/۷۱	۰/۰٦۱	۱٥/۹۸	۰/۹٦
	T4	۰/۹۲	۳/۱۳	۰/۰٥٥	۱۲/۸۷	۰/۹۷
	T5	۰/۸٤	۳/۷۹	۰/۰٥۳	۱٤/۹۲	۰/۹٥
	T6	۰/۸٤	٤/۱۹	-۰/۰۱۹	۱۷/۲۳	۰/۹٤
اعتبارسنجی	T1	۰/۹۰	۳/۱٤	۰/۰۳٦	۱۳/٦۱	۰/۹٦
	T2	۰/۸۹	۳/۲۸	۰/۰۷۹	۱٥/٦٦	۰/۹٦
	T3	۰/۸۸	۳/۷۱	۰/۰٤٤	۱٥/۹۱	۰/۹٥
	T4	۰/۸٦	۳/٤۹	۰/۰۱٤	۱٥/۷٥	۰/۹٦
	T5	۰/۹٥	۲/۹٤	۰/۰۸۱	۱۲/۳٦	۰/۹۷
	T6	۰/۸۳	٦/٥٤	۰/۱۹٤	۲٥/۷۷	۰/۷۹

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ٤. رطوبت خاک مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی (تیمار T_1 تا T_4)

www.SID.ir



شکل ۵. رطوبت خاک مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی (تیمار T_5 و T_6)

با توجه به منابع، برآورد رطوبت خاک توسط مدل در مناطق مختلف متفاوت می‌باشد، از این‌رو می‌توان نتیجه گرفت که احتمالا شبیه‌سازی رطوبت خاک با استفاده از مدل AquaCrop نه تنها بستگی به سطوح مختلف آب آبیاری دارد، بلکه به اقلیم و نوع خاک منطقه نیز وابسته است. دلایل احتمالی کم‌برآورد کردن رطوبت توسط مدل را می‌توان به نوع معادله حاکم بر بیلان آب نسبت داد که در آن برخی از عوامل مؤثر بر حرکت آب از قبیل جریانات ترجیحی و پدیده پس‌ماند رطوبتی در نظر گرفته نشده است. هم‌چنین مدل AquaCrop مانند سایر مدل-های شبیه‌سازی رطوبت خاک، فرض می‌کند که خاک اشباع شده در یک بازه زمانی کوتاه زهکشی می‌شود و به رطوبت ظرفیت زراعی می‌رسد (Mkhabela and Bullock, 2012). هم‌چنین با توجه به شکل ۳، تیمار با تنش شدیدتر دارای خطای بیشتری است. علت خطای بیشتر بین مقادیر رطوبت خاک مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در تیمارهای با تنش شدیدتر را می‌توان به ترک خوردن خاک و اثر درز و ترک بر رطوبت خاک نسبت داد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق مدل AquaCrop به‌منظور شبیه‌سازی پوشش گیاهی، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندرقند و رطوبت خاک تحت تیمارهای مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی و رطوبت خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی به‌ترتیب بین ۵/۱۸ تا ۹/۴۱ و ۹/۹۱ تا ۱۷/۲۳ درصد و در مرحله اعتبارسنجی به‌ترتیب بین ٦/٦٤ تا ۹/۲ و ۱۲/۳٦ تا ۲۵/۷۷ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین مقدار شاخص توافق در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی و رطوبت خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی به‌ترتیب بین ۰/۷٦ تا ۰/۸۸ و ۰/۹٤ تا ۰/۹۸ و در مرحله اعتبارسنجی به‌ترتیب بین ۰/٦۱ تا ۰/۸۱ و ۰/۷۹ تا ۰/۹۷ به‌دست آمد. مقدار ریشه میانگین مربعات خطای

www.SID.ir

نرمال شده در شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی کمتر از ۱۰ درصد به‌دست آمد. هم‌چنین مقدار شاخص توافق در شبیه‌سازی عملکرد ریشه و ماده خشک در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی به‌ترتیب ۰/۸٦ و ۰/۸۲ و در مرحله اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/٦۷ و ۰/٦۵ به‌دست آمد. نتایج نشان داد اعمال تنش آبی، باعث کاهش عملکرد ریشه، ماده خشک و روند توسعه پوشش گیاهی شده است. هم‌چنین، در سطوح با تنش آبی شدیدتر خطای پیش‌بینی توسط مدل افزایش یافته است. به‌طور کلی نتایج نشان داد، مدل AquaCrop توانسته پوشش گیاهی، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندرقند و رطوبت خاک را تحت تیمارهای مختلف آبیاری در منطقه مورد مطالعه به‌خوبی شبیه‌سازی نماید. با توجه به توانایی شبیه‌سازی پاسخ عملکرد گیاه چغندرقند نسبت به تیمارهای مختلف آبیاری، این مدل می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی در تصمیم‌گیری، توسط مهندسان آبیاری و کشاورزان در جهت بهبود مدیریت آب در کشت چغندرقند مورد استفاده قرار گیرد.

منابع مورد استفاده

ابراهیمی، م.، رضاوردی‌نژاد، و. و مجنونی هریس، ا. ۱۳۹٤. شبیه‌سازی رشد ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آب و نیتروژن با مدل AquaCrop. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ٤٦ (۲): ۲۲۰-۲۰۷.

اکبری، م. ۱۳۹۰. بیلان آب خاک و عملکرد محصول گندم با استفاده از مدل شبیه‌سازی AquaCrop (مطالعه موردی در شبکه آبیاری آبشار اصفهان). مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، ۱۲ (٤): ۳٤-۱۹.

بابازاده، ح. و سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل AquaCrop تحت شرایط مدیریت کم آبیاری سویا. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲٦ (۲): ۳۳۹-۳۲۹.

توکلی، ع.ر.، لیاقت، ع.م. و علیزاده، ا. ۱۳۹۲. بررسی موازنه آب خاک، تاریخ کاشت و عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop در شرایط دیم و آبیاری محدود. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، (٤) ١٤: ٥٦-٤١.

زندپارسا، ش.، پرویزی، س.، سپاس‌خواه، ع.ر. و مهبد، م. ۱۳۹۵. ارزیابی مقادیر شبیه‌سازی شده رطوبت خاک، ماده خشک و عملکرد دانه گندم زمستانه رقم شیراز با استفاده از مدل‌های WSM و AquaCrop. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، (۲۰) ۷٦: ۷۰-۵۹.

علیزاده، ا. ۱۳۸۵. طراحی سیستم‌های آبیاری. مشهد: دانشگاه امام رضا (ع)، جلد ۱. ٤۵۲ صفحه.

قربانیان کردآبادی، م.، لیاقت، ع.م.، وطن‌خواه، ا. و نوری، ح. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی عملکرد و تبخیر و تعرق ذرت علوفه‌ای با استفاده از مدل AquaCrop. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ٤ (۲): ٦٤-٤۷.

گلابی، م. و ناصری، ع.ع. ۱۳۹٤. ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد نیشکر و شوری پروفیل خاک تحت تنش شوری. مجله تحقیقات آب و خاک ایران، ٤٦ (٤): ٦٩٤-٦٨۵.

محمدی، م.، داوری، ک.، قهرمانی، ب.، انصاری، ح. و شهیدی، ع. ۱۳۹٤. پیش‌بینی رطوبت و شوری نیم‌رخ خاک با استفاده از مدل AquaCrop در تیمارهای مختلف کم آبیاری و شوری. نشریه دانش آب و خاک، ۲۵ (٤/۱): ۲۱۰-۱۹۵.

Akumaga, U., Tarhule, A. and Yusuf, A.A. 2017. Validation and testing of the FAO AquaCrop model under different levels of nitrogen fertilizer on rainfed maize in Nigeria, West Africa. Agricultural and Forest Meteorology, 232: 225-234.

Allen, R.G., Periera, L.S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirement. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 56. FAO, Rome.

Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M.E., Barati, M.A. and Rahnama, A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. Agricultural Water Management, 100 (1): 1-8.

Archive of SID

www.SID.ir

Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A. and Dejene, T. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). Agricultural Water Management, 97: 1838–1846.

Belmans, C., Wesseling, J.G. and Feddes, R.A. 1983. Simulation model of the water balance of cropped soil: SWATRE. Journal of Hydrology, 63: 271–286.

Doorenbos, J. and Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper, No. 33. FAO, Rome. 201 Pages.

FAO. 2009. ETo calculator version 3.1. In: Evapotranspiration from Reference Surface, FAO, Land and Water Division, Rome, Italy.

Farahani, H.J., Izzi, G. and Oweis, T.Y. 2009. Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigated Cotton. Agronomy Journal, 101: 469–476.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Miranda, R., Cusicanqui, J.A., Taboada, C., Mendoza, J., Huanca, R., Mamani, A., Condori, O., Mamani, J., Morales, B., Osco, V. and Steduto, P. 2009. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability with AquaCrop. Agronomy Journal, 101: 499-508.

Heng, L.K., Hsiao, T.C., Evett, S., Howell, T. and Steduto, P. 2009. Validating the FAO AquaCrop Model for Irrigated and Water Deficient Field Maize. Agronomy Journal, 101: 488–498.

Hsiao, T.C., Heng, L.K., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D. and Fereres, E. 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. Agronomy Journal, 101: 448–459.

Iqbal, M., Shen, Y., Stricevic, R., Pei, H., Sun, H., Amiri, E., Penas, A. and Del Rio, S. 2014. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. Agricultural Water Management, 135: 61-72.

Katerji, N., Campi, P. and Mastrorilli, M. 2013. Productivity, evapotranspiration, and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by AquaCrop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. Agricultural Water Management, 130: 14– 26.

Liu, H.F., Genard, M., Guichard, S. and Bertin, N. 2007. Model-assisted analysis of tomato fruit growth in relation to carbon and water fluxes. Journal of Experimental Botany, 58 (13): 3567-3580.

Malik, A., Shakir, A.S., Ajmal, M., Khan, M.J. and Khan, T.A. 2017. Assessment of AquaCrop model in simulating sugar beet canopy cover, biomass and root yield under different irrigation and field management practices in semi-arid regions of Pakistan. Water Resources Management, 31 (13): 4275-4292.

Mebane, V.J., Day, R.L., Hamlett, J.M., Watson, J.E. and Roth, G.W. 2013. Validating the FAO AquaCrop model for rainfed maize in Pennsylvania. Agronomy Journal, 105(2): 419-427.

Mkhabela, M.S. and Bullock, P.R. 2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. Agricultural Water Management, 110: 16-24.

Montoya, F., Camargo, D., Ortega, J.F., Corcoles, J.I. and Dominguez, A. 2016. Evaluation of Aquacrop model for a potato crop under different irrigation conditions. Agricultural Water Management, 164: 267-280.

Ritchie, J.T. 1972. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. Water Resources Research, 8: 1204–1213.

Ritchie, J.T., Godwin, D.C. and Otter-Nacke, S. 1985. CERES-Wheat: A Simulation Model of Wheat Growth and Development. Texas A. & M University. press, College station.

Saadati, Z., Pirmoradian, N. and Rezaei, M. 2011. Calibration and evaluation of AquaCrop model in rice growth simulation under different irrigation managements. 21th International Congress on Irrigation and Drainage, October 19-23, 2011, Tehran, Iran, 589-600.

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.

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

Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. and Fereres, E. 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: I. concepts and underlying principles. Agronomy Journal, 101: 426–437.

Stricevic, R., Cosic, M., Djurovic, N., Pejic, B. and Maksimovic, L. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplemental irrigated maize, sugar beet and sunflower. Agricultural Water Management, 98: 1615– 1621.

Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abi Saab, M., Stöckle, 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.

Zeleke, K.T., Luckett, D. and Cowley, R. 2011. Calibration and testing of the FAO AquaCrop model for canola. Agronomy Journal, 103: 1610–1618.

Archive of SID
www.SID.ir

ISSN 2251-7480

Simulation of sugar beet growth under water stress using AquaCrop model

Zahra Saadati[1], Masomeh Delbari[2]*, Mahdi Panahi[3] and Ebrahim Amiri[4]

1) Ph.D. Graduated, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran
2*) Associate Professor, Water Engineering Department, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Iran
*Corresponding author email: mas_delbari@yahoo.com
3) Assistant Professo, Soil and Water Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran
4) Professor, Water Engineering Department, Faculty of Agriculture, Islamic Azad University, Lahijan branch, Iran

Received: 07-04-2017 Accepted: 25-01-2018

Abstract

Simulation models that illustrate the effects of water on crop yield are useful tools to optimize water productivity and improve farm level water management. In this study, the performance of AquaCrop model to simulate canopy cover, biomass and yield of the sugar beet and soil water content under six irrigation treatments was evaluated. The irrigation treatments were consisted of full irrigation (T1) as control, removing last irrigation (T2), applying irrigation water at 10% greater than control (T3), applying irrigation water at 10 (T4), 20 (T5) and 30% (T6) less than control. The experiment was conducted at Aleshtar in Lorestan province during growing seasons of 2014 and 2015, using a randomized complete block design. The first and second year's data were used for calibrating and validating of the model, respectively. Evaluation of the model was performed using the coefficient of residual mass, root mean square error, normalized root mean square error, index of agreement and coefficient of determination. According to the results, the normalized root mean square error in the canopy cover and soil water content simulations for calibration was 5.18 to 9.41 percent and 9.91 to 17.23 percent, respectively and for validation was 6.64 to 9.2 percent and 12.36 to 25.77 percent, respectively. Also, the normalized root mean square error in the yield and biomass simulations for calibration was 7.3 and 8.67 percent and for validation was 7.69 and 9.82 percent, respectively. The results indicated a good performance of the AquaCrop Model in simulating the canopy cover development, biomass and yield of sugar beet and soil water content under different irrigation managements. Therefore, the AquaCrop model can be used to explore management scenarios to improve the sugar beet water management over the study region.

Keywords: canopy cover, deficit irrigation, simulation model, sugar beet, yield

Archive of SID

www.SID.ir