بهینه‌سازی و مدیریت مصرف آب در نیشکر با استفاده از مدل شبیه‌سازی آکواکراپ (مطالعه موردی کشت صنعت امیرکبیر، خوزستان)

مهران عابدین‌زاده[1*]، عبدالمهدی بخشنده[2]، سیدبهرام اندرزیان[1]، سیروس جعفری[1] و محمدرضا مرادی‌تلاوت[1]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۹/۲۹)

چکیده

ایران در کمربند خشک کره زمین واقع شده است و پیش‌بینی می‌شود طی نیم قرن آینده با تنش آبی مواجه شود. سطح زیرکشت نیشکر در خوزستان هم‌اکنون بالغ بر ۸۵ هزار هکتار است و با توجه به نیاز آبی بالای نیشکر و شرایط خشکسالی، بهینه‌سازی مصرف آب و مدیریت آبیاری به‌منظور استمرار تولید در این بخش ضروری است. لذا در این پژوهش مقادیر رطوبت خاک، پوشش سبز، عملکرد زیست‌توده در پنج تیمار و سطوح آبیاری (شروع آبیاری در زمان‌های۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰ و ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی خاک) طی ۲ تاریخ کشت در رقم CP69-1062 در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ درکشت و صنعت نیشکر امیرکبیر واقع در جنوب خوزستان توسط مدل آکواکراپ شبیه‌سازی شد. داده‌های اندازه‌گیری شده در تاریخ کشت اول (D1) برای واسنجی مدل و تاریخ کشت دوم (D2) برای صحت‌سنجی استفاده شد. نتایج آماره NRMSE در شبیه‌سازی پوشش سبز در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب با مقادیر ۲/۱ تا ۱۵/۶ و ۳/۸ تا ۱۸/۳ درصد و در شبیه‌سازی زیست‌توده به‌ترتیب با مقادیر ۶/۲ تا ۱۵/۲ و ۹/۵ تا ۱۲/۶ درصد و ضریب تعیین (R^2)، محدوده ۰/۹۸ تا ۰/۹۹ مبین توانایی بالای مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی پوشش سبز و عملکرد زیست‌توده است. درحالی که مقادیر آماره NRMSE رطوبت عمق خاک در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب در محدوده ۱۱/۶ تا ۲۳/۸ و ۱۲/۲ تا ۲۲/۷ با ضریب تعیین (R^2)، ۰/۷۳ تا ۰/۹۶ (در مرحله واسنجی) ۰/۸ تا ۰/۹۳ (در مرحله صحت‌سنجی) دقت کمتر مدل در شبیه‌سازی را نشان داد. بهترین سناریو مربوط به سومین پیشنهاد است که در آن مصرف آب ۱۷۱۰ میلی‌متر و راندمان مصرف آب ۱/۵۳ و عملکرد ۴۲/۲۷ تن در هکتار است که کاهش مصرف آب ۳۶۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: واسنجی، صحت‌سنجی، تیمار آبیاری، پوشش سبز، زیست‌توده

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی دانشگاه کشاورزی و منابع طبیعی رامین خوزستان
۲. بخش تحقیقات علوم زراعی و باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی اهواز
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: m9332013@yahoo.com

مقدمه

بر اساس گزارش فائو کشور ایران در کمربند خشک کره زمین واقع است و پیش‌بینی می‌شود طی نیم قرن آینده از جمله ۶۶ کشوری باشد که از تنش آبی رنج خواهد برد، بنابراین باید برای مصرف آب‌های در دسترس به‌عنوان یک کالای با ارزش، اهمیت بیشتری قائل، و در مصرف آن وسواس بیشتری به خرج دهد (۲۴). کمبود آب یک مانع اساسی در تولید مواد غذایی در بسیاری از کشورهای خشک و نیمه‌خشک دنیا است و با افزایش جمعیت در بسیاری از مناطق دنیا یک عزم جهانی برای افزایش تولیدات کشاورزی به‌منظور جبران کمبود غذا از طریق بالا بردن راندمان مصرف آب و مدیریت بهتر آبیاری به‌وجود آمده است (۵). مدیریت توزیع و مصرف بهینه آب یک راهکار مناسب برای افزایش بهره‌وری مصرف آب است. در شرایط محدودیت منابع آب و فراوانی نسبی اراضی قابل کشت (شرایط حاکم بر اکثر مناطق ایران) هدف اصلی بایستی بیشتر متمرکز بر بالا بردن تولید به‌ازای واحد آب مصرفی و استفاده بهینه از این منابع باشد (۸ و ۱۲). تعیین عملکرد محصول برای شرایط مختلف محدودیت آب یکی از اهداف مهم برنامه‌ریزی آبیاری است (۱۷). با توجه به اینکه واکنش گیاه به شرایط رطوبتی تابع عوامل متعدد آب و هوایی، خاک، رقم زراعی و مدیریت مزرعه است تعیین عملکرد در چنین شرایط متغیری مستلزم انجام آزمایش‌های فراوان و متنوع مزرعه‌ای است که خود کاری پرزحمت، زمان بر و پرهزینه است. رهیافت مدل‌سازی و کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان که صحت‌سنجی شده باشند جایگزین مناسب، سریع و کم‌هزینه است. این مدل‌ها با بررسی سناریوهای مختلف آبیاری، بهترین سناریو (بهینه) را از بین سناریوهای مورد بررسی تعیین می‌کند (۱۲ و ۱۹).

مدل‌های زیادی مانند APSIM , SALTMED, DSSAT, SWAP می‌تواند برای بهینه‌سازی مصرف آب و مدیریت توزیع آب مورد استفاده قرار گیرد. اما به‌دلیل پیچیدگی و نیاز آنها به پارامترهای زیاد گیاه، خاک و مزرعه کار کردن با آنها تا حدودی مشکل بوده و نیاز به مهارت و تجربه کافی دارند. در مقابل مدل آکواکراپ یک مدل به‌نسبت ساده است که نیاز به پارامترهای کمتر داشته و به سهولت قابل دسترس است، ضمن اینکه با توانایی خوب و دقت مطلوب فرایندهای خاک و گیاه را شبیه‌سازی می‌کند. به‌عبارتی در این مدل بین سادگی، سهولت دسترسی به پارامترها، دقت و توانایی، یک توازن مناسب وجود دارد، این خصوصیات دامنه کاربرد را در مقایسه با دیگر مدل‌ها وسیع‌تر کرده است (۴).

طی تحقیقی در کشور نیجریه مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی سایه‌انداز پوشش سبز، زیست‌توده خشک زیرزمینی، عملکرد، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و بهره‌وری آب در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری با توجه به تغییر اقلیم و به‌منظور بهینه‌سازی تولید در گیاه سویا، مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق مدل آکواکراپ زیست‌توده را در شرایط کم‌آبیاری با میزان کمتر از اندازه‌گیری شده و در شرایط آبیاری کامل را بیشتر از اندازه‌گیری شده برآورد کرد اما با توجه به پیش‌بینی دقیق عملکرد و رطوبت خاک به این نتیجه رسیدند که این مدل در بهینه‌سازی بهره‌وری آب در سطح مزرعه از توانایی بالایی برخوردار است (۲).

بابازاده و تبریزی (۶) در تحقیقی نشان دادند که مدل آکواکراپ یک ابزار قدرتمند و با ارزش برای بهینه‌سازی مصرف آب و مدیریت آب در مزرعه و محاسبه بهره وری آب است. این پژوهشگران جهت ارزیابی و آنالیز حساسیت مدل مورد اشاره از داده‌های مزرعه‌ای تحت کشت گیاه سویا در منطقه کرج استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد محصول، تبخیر و تعرق گیاهی و کارآیی مصرف آب سویا عملکرد قابل قبولی دارد و ورودی‌های مدل به زمان سبز شدن بذرها، رطوبت اولیه خاک و عمق آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل، هیچ حساسیتی ندارد (۶).

بر اساس نتایج حاصل از مطالعه‌ای در شمال چین به‌منظور بررسی عملکرد گندم زمستانه، با استفاده از مدل آکواکراپ، عملکرد محصول و زیست‌توده در شرایط مختلف کم‌آبیاری با

دقت مناسبی توسط مدل برآورد شد و مدل آکواکراپ مدلی اطمینان‌بخش برای شبیه‌سازی عملکرد در آن منطقه معرفی شد (۱۶).

نتایج حاصل از شبیه‌سازی رطوبت خاک، ماده خشک و عملکرد گندم زمستانه رقم شیراز با استفاده از مدل‌های WSM و AquaCrop که در آن از داده‌های اندازه‌گیری در سال اول زراعی برای واسنجی و در سال دوم برای اعتبار سنجی(صحت‌سنجی) استفاده شد، نشان داد در مدل WSM، مقدار رطوبت خاک در لایه‌های مختلف عمق ریشه در سال اعتبارسنجی با مقدار نرمال شده ریشه متوسط مربع خطا (NRMSE) برابر ۰/۱۴ خوب برآورد شده، ولی مدل AquaCrop در برآورد آن دقت کمتری داشت (NRMSE=۰/۲۶). مقادیر برآورد تبخیر و تعرق گیاهی در تیمار آبیاری کامل، در هر دو مدل نزدیک به‌هم بوده ولی با افزایش تنش رطوبتی، از دقت برآورد مدل AquaCrop کاسته شد. مدل WSM مقدار ماده خشک و عملکرد دانه را با NRMSE به‌ترتیب برابر ۰/۱۵ و ۰/۱۸ خوب برآورد کرده و مدل AquaCrop با NRMSE به ترتیب برابر ۰/۱۹ و ۰/۳۹ در برآورد آنها دقت کمتری داشت (۳۰).

به‌منظور ارزیابی مدل آکواکراپ در شرایط کم‌آبیاری، در منطقه پاکدشت کرج بر روی گیاه جو با سه تیمار آبیاری در سه تاریخ کشت آزمایشی انجام شد. نتایج نشان داد که مدل آکواکراپ تا ۹۶ درصد تغییرات عملکرد محصول را در شرایط مختلف کاشت، آبیاری کامل و کم‌آبیاری شبیه‌سازی می‌کند (۱۷).

نتایج حاصل از کاربرد مدل آکواکراپ برای شبیه‌سازی رشد گیاه سیب‌زمینی تحت شرایط مختلف آبیاری در منطقه‌ای واقع در جنوب شرقی اسپانیا، نشان داد که این مدل برای شبیه‌سازی رشد و توسعه سیب‌زمینی در منطقه مورد مطالعه با شاخص توافق و ضریب تعیین بالای ۰/۹ از دقت قابل قبولی برخوردار است (۲۲).

در تحقیقی در منطقه گرم و خشک و بادخیز مدیترانه‌ای شمال سوریه برای محصول پنبه مدل آکواکراپ در شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آبیاری کامل) مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج نشان داد که به‌جز در شرایط کم‌آبیاری ۴۰ و ۶۰ درصد که مقدار خطای پیش‌بینی شده ۳۲ درصد بود در بقیه موارد با خطای ۱۰ درصد می‌توان از مدل آکواکراپ به‌عنوان مدلی قابل قبول استفاده کرد (۱۱).

به‌منظور مدیریت آبیاری از مدل آکواکراپ برای شبیه‌سازی پارامترهای تراکم بوته، عملکرد، زیست‌توده، شاخص برداشت، عمق ریشه‌زایی مؤثر، سطح سایه‌انداز در رژیم‌های مختلف آبیاری استفاده شد، نتایج نشان داد که این مدل با دقت بالایی فرایندهای سطح سایه‌انداز و عملکرد را شبیه‌سازی کرد و با شاخص برداشت ۸۰ درصد سبب کاهش مصرف آب و بالا رفتن کارآیی مصرف آب به میزان ۵/۶ کیلوگرم در مترمربع شد (۲۵).

برای ارزیابی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی سایه‌انداز پوشش سبز، زیست‌توده و عملکرد ریشه چغندرقند تحت روش‌های مختلف آبیاری و مدیریت میدانی از این مدل با روش تجزیه و تحلیل تولید قند تحت چهار رژیم آبیاری، سه شرایط مالچینگ و سه سیستم آبیاری در منطقه نیمه‌خشک پاکستان استفاده شد. در تمام سیستم‌های آبیاری اعمال شده مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی و تخمین زیست‌توده و عملکرد از کارایی بسیار خوبی برخوردار بود و لذا با توجه به سادگی و الزامات پارامترهای محدود آکواکراپ در مقایسه با سایر مدل‌های رشد محصول، این مدل می‌تواند به‌عنوان ابزاری با ارزش برای تدوین استراتژی‌های بهینه‌سازی مصرف آب و مدیریت سطح آب در زمینه تولید چغندرقند در مناطقی که با محدودیت آب مواجه هستند، مورد استفاده قرار گیرد (۲۰).

در مزرعه‌ای در زابل به‌منظور بهینه‌سازی مصرف آب و بهبود مدیریت آبیاری از مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، ماده خشک و عملکرد گیاه چغندر قند و رطوبت خاک تحت تیمارهای مختلف آبیاری استفاده شد، نتایج نشان داد که مدل آکواکراپ کارایی خوبی در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، ماده

خشک و عملکرد گیاه چغندرقند و رطوبت خاک تحت رژیم‌های مختلف آبیاری دارد. لذا استفاده از این مدل را در تعیین استراتژی‌های بهینه‌سازی مصرف آب و مدیریت آب در کشت چغندرقند در منطقه مورد مطالعه پیشنهاد کردند (۲۷).

بر اساس نتایج آزمایشی که به‌منظور ارزیابی مدل آکواکراپ در تخمین بیوماس، عملکرد دانه و بهره‌وری آب بر روی گیاه ذرت در کشور هندوستان انجام شد مشخص شد که این مدل توانایی برآورد شاخص‌های ذکر شده در گیاه ذرت را دارد و مدل برای شبیه‌سازی عملکرد دانه ذرت و زیست‌توده برای تمام سطوح تیمارها با آمار خطای پیش بینی ۰/۹۵ کالیبره شد (۱).

نتایج حاصل از شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه ذرت تحت تیمارهای کم‌آبیاری و کاربرد سوپرجاذب با استفاده از مدل آکواکراپ، نشان داد که این مدل دقت مناسبی در تعیین عملکرد دانه و زیست‌توده دارد به‌طوری که مقادیر آماره‌های RMSE و MBE برای این دو پارامتر ۰/۷۲، ۱/۳۵، ۰/۰۹- ۰/۶۵ تن در هکتار به‌دست آمد. همچنین آماره R^2 برای هر دو پارامتر نشان داد که نتایج این مدل همبستگی خوبی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده دارد، گرچه این مدل در تعیین عوامل کارایی مصرف آب و شاخص برداشت به نسبت دو پارامتر دیگر عملکرد ضعیف‌تری داشت لیکن نتایج کلی نشان‌دهنده قابلیت مناسب این مدل در تعیین این دو پارامتر بود (۱۰).

در آزمایشی با استفاده از مدل آکواکراپ داده‌های تجربی شش فصل زراعی بر ذرت در دانشگاه کالیفرنیا مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج نشان داد که مدل، زیست‌توده و عملکرد محصول در شرایط مختلف تراکم بوته، تاریخ کاشت و نیاز آبی را با دقت مناسبی شبیه‌سازی می‌کند (۱۴).

نتایج حاصل از شبیه‌سازی پارامترهای گیاه ذرت آبی در ایتالیا با استفاده از مدل آکواکراپ نشان داد که این مدل به‌طور مناسبی بیوماس تجمعی روزانه را در شرایط بدون تنش و تنش آبی متوسط شبیه‌سازی می‌کند، اما کارآیی خوبی در شرایط تنش آبی شدید ندارد (۱۸).

نتایج آزمایش روی گیاه نیشکر در شرایط آب و هوایی خوزستان تحت سناریوهای کم‌آبیاری و پاسخ عملکرد به تنش آبی با استفاده از مدل آکواکراپ، نشان دادند که عملکرد نیشکر شبیه‌سازی شده باNMRSE (خطای میانگین مربعات نرمال شده) (۱۸/۹٪=) ۱/۸۹ و خطای میانگین مربعات ۱/۷ درصد، قابل قبول است و این مدل ابزاری مناسب برای شبیه‌سازی کم آبی در شرایط اقلیمی خوزستان است (۷).

مدل آکواکراپ برای پیش‌بینی عملکرد نیشکر و شوری پروفیل خاک تحت تنش شوری مورد استفاده قرار گرفت نتایج نشان داد که این مدل توانایی مناسبی در شبیه‌سازی میزان عملکرد تحت تنش شوری دارد (۱۳).

این پژوهش با هدف واسنجی و صحت‌سنجی مدل آکواکراپ برای ارزیابی سناریوهای مختلف آبیاری در نیشکر با هدف بهینه‌سازی مصرف آب و تعیین مناسب‌ترین مدیریت آبیاری مزرعه در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش درسال زراعی ۱۳۹۴ لغایت دی ۱۳۹۵ روی رقم نیشکر CP69-1062 در شرکت کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر واقع در ۴۵ کیلومتری جنوب اهواز بین طول‌های جغرافیایی ´ ۱۰ °۴۸ تا ´ ۲۲ °۴۸ شرقی عرض جغرافیایی، ´ ۵۰ °۳۰ با ارتفاع ۷ متر از سطح دریا انجام شد. بر اساس داده‌های هواشناسی ایستگاه امیرکبیر، دارای آب وهوای خشک و در تقسیم‌بندی اقلیمی به‌روش گوسن جزء اقلیم نیمه‌بیابانی محسوب می‌شود (۱۳).

خصوصیات خاک

به‌منظور تعیین برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، قبل از کشت نمونه‌برداری خاک در دو عمق ۴۵-۰ و ۹۰-۴۵ سانتی‌متر با توجه به عمق توسعه ریشه ، انجام شد (سیستم ریشه‌ای گیاه نیشکر به‌گونه‌ای است که قسمت اعظم حجم ریشه در عمق ۴۵-۰ و قسمت کمتری از آن در عمق ۹۰-۴۵ سانتی‌متری از سطح خاک گسترش یافته است). از نمونه‌های برداشت شده نمونهٔ مرکبی تهیه شد که نتایج آنالیز آن در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. میانگین ماهیانه داده‌های ایستگاه هواشناسی امیرکبیر در سال ۲۰۱۵

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	واحد
بارندگی	۲۶/۲	۱۷/۹	۱۲/۶	۱۰/۲	۳/۶	۰	۰/۱	۰	۰/۲	۵/۲	۲۹/۶	۳۲/۳	میلی‌متر
تبخیر و تعرق پایه	۶۲/۴	۸۸	۱۴۸/۵	۲۱۶/۲	۳۴۱/۱	۴۳۶/۵	۴۳۶/۵	۳۷۳/۹	۲۸۷/۵	۱۹۵/۴	۱۰۰	۶۱/۴	میلی‌متر
دمای حداقل	۶/۲	۸/۵	۱۲	۱۷/۳	۲۳	۲۵/۵	۲۷/۵	۲۷	۲۲/۷	۱۸/۵	۱۱/۹	۷/۳	درجه سانتی‌گراد
دمای حداکثر	۱۸/۱	۲۱/۲	۲۶/۷	۳۲/۸	۳۹/۷	۴۴/۵	۴۶	۴۵/۹	۴۲/۲	۳۵/۹	۲۶	۲۰	درجه سانتی‌گراد
درجه روز	۸۳/۳	۱۴۰/۸	۲۶۴/۳	۴۰۱/۲	۵۱۰	۵۳۲/۴	۵۷۹/۶	۵۷۲/۵	۴۹۰/۶	۴۴۰	۲۶۲/۲	۱۱۸/۶	درجه روز

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

عمق	EC	PH	Ca+Mg	CL	HCO_3	SO_4	مواد آهکی	P	O.C	OM	N	بافت
	$mmhos.cm^{-1}$		$meq.lit^{-1}$				٪	ppm		٪		
۰–۴۵	۱/۹۸	۸/۴۵	۱۰/۵	۱۲/۵	۳/۵	۰/۸۶	۴۸	۲/۶	۰/۵۶	۰/۹۷	۰/۰۴۹	سندی لوم
۴۵–۹۰	۲/۰۲	۸/۶۶	۱۰/۵	۱۰/۵	۳	۰/۷۸	۴۷/۷۵	۳	۰/۲۷	۰/۴۷	۰/۰۲۴	سندی لوم

مشخصات تیمارها و اندازه‌گیری‌ها

تیمارهای آزمایش شامل ۲ تیمار اصلی تاریخ کاشت و ۵ تیمار فرعی آبیاری با سه تکرار در ۳۰ کرت در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا شد. تیمارهای تاریخ کاشت شامل: ۱) کاشت ۲۰ مرداد (D_1) ۲) کاشت ۱۰ شهریور (D_2) و تیمارهای شروع آبیاری عبارتند از: ۱) ۴۰٪ تخلیه رطوبتی (T_1) ۲) ۵۰٪ تخلیه رطوبتی (T_2) ۳) ۶۰٪ تخلیه رطوبتی (T_3) ۴) ۷۰٪ تخلیه رطوبتی (T_4) ۵) ۸۰٪ تخلیه رطوبتی (T_5). کرت‌ها به ابعاد ۵ فارو ۱/۸۳ متری و به‌طول ۱۱ متر (۱۰۰ متر مربع) انتخاب شدند. میزان آب مصرفی (ورودی) هر نوبت آبیاری در هر تیمار ثابت و ۹۰ میلی‌متر و به‌منظور عدم تداخل رطوبتی در آبیاری و مستقل بودن تیمارها نسبت به‌هم بین هر کرت ۵ فارو فاصله گذاشته شد در هر ردیف کاشت ۲۲ قلمه ۳ جوانه‌ای (۲۲۰ قلمه و به‌طور متوسط ۶۶۰ جوانه) در هر تیمار کشت شد.از هر کرت آزمایشی قبل از شروع آبیاری به‌منظور تعیین درصد رطوبت خاک ابتدا درصد رطوبت تا عمق یک متری (عمق ریشه) نمونه‌برداری و پس از اندازه‌گیری وزن‌تر توسط ترازوی دیجیتال تا دو رقم اعشاری و ثبت آن نمونه در آون در دمای ۱۰۷ به‌مدت ۲۴ ساعت نگهداری و پس از آن نمونه خشک شده را مجدداً وزن کرده و از رابطه (۱) درصد رطوبت وزنی محاسبه شد (۸):

$$\omega = \frac{Mw}{Ms} 100 \qquad (۱)$$

ω = درصد وزنی آب خاک، Mw = جرم آب خاک و Ms = جرم قسمت جامد خاک

اندازه‌گیری دبی ورودی

برای اندازه‌گیری شدت جریان ورودی از فلوم WSC تیپ ۲ استفاده شد و از رابطه (۲) محاسبه شد:

$$Q = MH^N \qquad (۲)$$

ضرایب M و N برای فلوم تیپ ۲.

$$Q = 0.0037H^{2.64} \quad (۳)$$

Q= دبی ورودی به فلوم (لیتر بر ثانیه) H= ارتفاع جریان آب در فلوم (سانتی‌متر).

داده‌های ورودی مورد نیاز مدل

ورودی‌های مدل شامل چهار دسته اطلاعات هواشناسی، گیاه، مدیریتی و خاک است. داده های مربوط به حداقل و حداکثر دمای هوا، بارندگی، ساعات آفتابی، رطوبت حداقل و حداکثر از ایستگاه هواشناسی شرکت کشت و صنعت امیرکبیر در طول دوره تحقیق اخذ شد. میزان دی‌اکسید کربن موجود در اتمسفر در مدل به‌صورت پیش‌فرض از سال ۱۹۰۲ تا ۲۰۹۹ در رصد خانه مانولو که توسط هئیت میان دولتی تغییرات آب و هوا (IPCC)، به‌عنوان چهارمین گزارش ارزیابی خود است، استفاده شده است (۱۶).

مدل آکواکراپ

در این تحقیق از مدل آکواکراپ (نسخه۶) استفاده شد. به‌منظور شبیه‌سازی سایه‌انداز پوشش سبز، میزان عملکرد زیست‌توده خشک و رطوبت خاک ابتدا مدل نسبت به پارامترهای گیاهی به‌کار رفته در مدل کالیبره شده (جدول ۳). هدف از کالیبره کردن مدل تنظیم ورودی‌های گیاهی مدل برای استفاده در مراحل صحت‌سنجی و شبیه‌سازی است. مدل آکواکراپ در دو تاریخ کشت ۲۰ مرداد (D_1) و۱۰ شهریور (D_2) برای مقایسه نتایج اندازه‌گیری شده و برآورد شده (شبیه‌سازی شده) سه پارامتر سایه‌انداز پوشش سبز، عملکرد زیست‌توده خشک و میزان رطوبت موجود در خاک مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت (۴).

عملکرد

اساس تخمین عملکرد محصول در مدل آکواکراپ رابطه Doorenbos and Kassam است (۱۰ و ۲۸).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y\left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (۴)$$

در این معادله Yx و Ya به‌ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ETx و ETa به‌ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر- تعرق گیاه، و Ky ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر- تعرق است. این مدل با تفکیک تبخیر و تعرق (ET) به دو جزء تبخیر از سطح خاک (E) و تعرق از سطح گیاه (Tr)، از مصرف غیرتولیدی آب از طریق تبخیر جلوگیری می‌کند.

این عمل با شبیه‌سازی پوشش تاج گیاه به‌جای شاخص سطح برگ (LAI) انجام می‌شود. بدین ترتیب که توسعه پوشش تاج گیاه از زمان جوانه‌زنی تا مقدار بیشینه پوشش تاج از رابطه (۵) محاسبه می‌شود (۱۰ و ۲۶). برای محاسبه پوشش کانوپی گیاه در مزرعه از نرم‌افزار Crop Green Tracker استفاده شد. استفاده از این روش مورد تأیید محققانی همچون سعیدی‌نیا و همکاران (۲۸) قرار گرفته است:

$$CC=CC_0\times e^{CGC.t} \quad (۵)$$

در این رابطه، CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد)، CC_0 پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) است. میزان تعرق گیاه بر اساس پوشش تاج از رابطه (۶) محاسبه می‌شود (۱۰، ۲۶ و ۲۸).

$$T_r=K_s\times CC\times K_c\times ET_0 \quad (۶)$$

که در آن، K_s و K_c به‌ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی هستند. بیوماس خشک (زیست‌توده) طبق رابطه (۷) برآورد می‌شود:

$$B = WP^*\times_i \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Tr}{ETo}\right) \quad (۷)$$

که در این رابطه، T_r مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی، *WP بهره‌وری آب، ET_0 تبخیر و تعرق گیاه مرجع و B عملکرد زیست‌توده خشک است (۱۰ و ۲۳).

واسنجی مدل آکواکراپ

واسنجی به‌منظورتعدیل پارامترهای گیاه و خاک (جدول ۳) برای به حداقل رساندن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و

جدول ۳. پارامترهای گیاهی به‌کار رفته در مدل آکواکراپ برای شبیه‌سازی عملکرد

پارامتر گیاهی	مقدار	واحد	روش تعیین
دمای پایه	۱۰	درجه سانتی‌گراد	پیش فرض
دمای بالا	۳۰	درجه سانتی‌گراد	پیش فرض
پوشش اولیه در زمان تکمیل ۹۰ درصد سبز شدن	۰/۶۹	٪	واسنجی
ضریب رشد کانوپی	۱۳	٪day	پیش فرض
حداکثر کانوپی گیاهی	۹۸	٪	واسنجی
ضریب کاهش کانوپی	۰/۱۳	٪day	پیش فرض
شاخص برداشت	۸۲	٪	واسنجی
بهره وری آب نرمال شده	۱۷	$g.m^{-2}$	پیش فرص
ضربی تعرق گیاهی برای پوشش کامل	۱/۱	–	پیش فرض
متوسط توسعه پوشش سبز برگ	۱	٪	پیش فرض
تنش آبی خاک برای کنترل روزنه	۶	٪	پیش فرض
زمان شروع جوانه زنی (روز پس از کشت)	۱۰	روز	واسنجی
زمان رسیدن به حداکثر پوشش کانوپی (روز پس از کشت)	۲۴۰	روز	واسنجی
تراکم گیاه	۱۳/۹	$Plant.m^2$	واسنجی

مشاهداتی سایه‌انداز پوشش سبز، عملکرد بیوماس و رطوبت منطقه ریشه صورت می‌گیرد. از داده‌های اندازه‌گیری شده ۵ تیمار آزمایشی تاریخ کشت اول D_1 (۲۰ مرداد) در مرحله واسنجی استفاده شد.

صحت‌سنجی مدل آکواکراپ

در این تحقیق برای صحت‌سنجی مدل داده‌های اندازه‌گیری شده تیمارهای مختلف آزمایشی، در تاریخ دوم کاشت D_2 (۱۰ شهریور) مورد استفاده قرار گرفت که در آن پارامترهای به‌دست آمده در مرحله واسنجی بدون تغییر درنظر گرفته شد و پس از اجرای مدل مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی سایه‌انداز پوشش سبز، عملکرد زیست‌توده تولیدی و رطوبت خاک مقایسه یک به یک شدند.

ارزیابی مدل آکواکراپ

واسنجی به‌منظور تعدیل پارامترهای گیاه و خاک برای به حداقل رساندن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی عملکرد زیست‌توده، سایه‌انداز پوشش سبز و رطوبت خاک در منطقه ریشه صورت می‌گیرد. برای ارزیابی نتایج مدل و مقایسه مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده شاخص‌های آماری متفاوتی وجود دارند. در این تحقیق برای ارزیابی مدل، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)، کارایی مدل‌سازی (EF) و ضریب تعیین (R^2) و شاخص توافق (d) استفاده شد که به‌ترتیب عبارتند از:

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} (S_i - O_i)^2}{n} \right]^{1/2} \qquad (۸)$$

$$NRMSE = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(s_i - o_i)^2\right]^{1/2}\left(\frac{100}{\bar{O}}\right) \quad (۹)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(S_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2} \quad (۱۰)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}((O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^{n}(S_i - \bar{S})^2} \quad (۱۱)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(|Si'| + |Oi'|)^2} \quad (۱۲)$$

در روابط بالا S_i مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل O_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد مقادیر شبیه‌سازی شده یا اندازه‌گیری شده و $\bar{O}$ مقدار متوسط پارامتر اندازه‌گیری شده و $\bar{S}$ مقدار متوسط پارامتر شبیه‌سازی شده‌است. حداقل مقدار RMSE و R^2 صفر است. مقدار زیاد RMSE نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) چقدر است. شاخص R^2 نسبت پراکندگی را بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. مقدار شاخص EF مقادیر شبیه‌سازی شده را با میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که مقادیر میانگین اندازه‌گیری شده، برآوردی بهتر از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. حد اکثر مقدار EF برابر یک است چنانچه تمام مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص RMSE برابر صفر و مقدار R^2 و EF برابر یک خواهد شد (۳، ۱۳، ۲۳ و ۲۹). اگر مقدار NRMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی بسیار خوب (دقیق)، و اگر بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد باشد. شبیه‌سازی خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد شبیه‌سازی متوسط و بیشتر از ۳۰ درصد باشد شبیه‌سازی ضعیف ارزیابی می‌شود (۳۰).

کاربرد مدل آکواکراپ برای برنامه‌ریزی آبیاری بهینه

به‌منظور ارزیابی برنامه‌های آبیاری با استفاده از مدل آکواکراپ ارزیابی سناریوهای مختلف آبیاری تیمار T_2 انجام شد. در این برنامه با توجه به مرحله رشد گیاه برنامه آبیاری را با تغییر میزان آب مصرفی در نوبت آبیاری و همچنین حذف، اضافه و یا جابه‌جایی زمان نوبت آبیاری در نرم‌افزار آکواکراپ برنامه آبیاری جدید طراحی شد، که از این روش می توان به‌خصوص در شرایط خشکسالی و کمبود آب بهترین برنامه آبیاری با مصرف بهینه آب (حداقل مصرف آب) که کمترین افت عملکرد را به‌دنبال داشته باشد، ارائه کرد.

نتایج و بحث

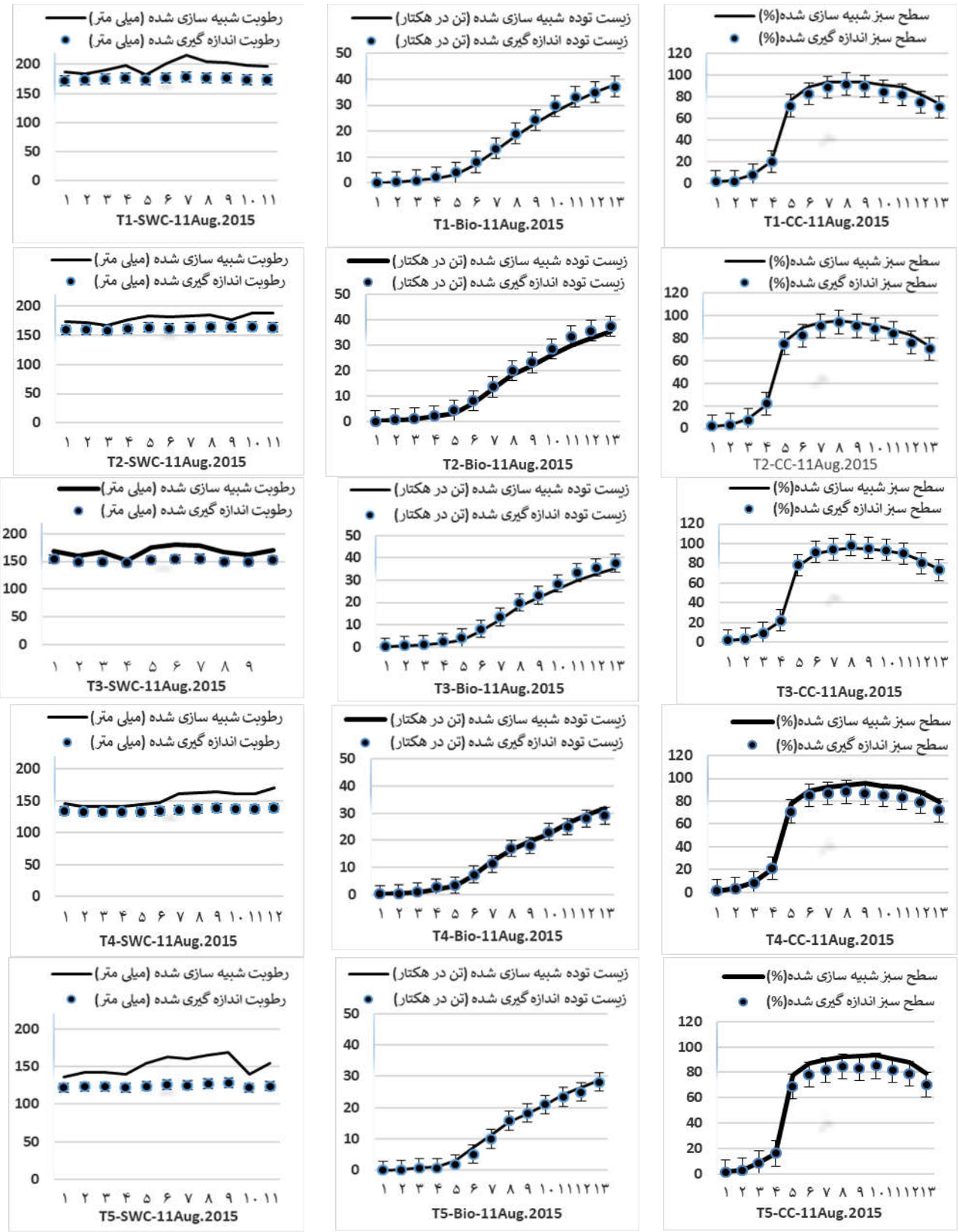
نتایج واسنجی مدل آکواکراپ

واسنجی به‌منظورتعدیل پارامترهای گیاه و خاک برای به حداقل رساندن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی سایه‌انداز پوشش سبز، عملکرد بیوماس و رطوبت منطقه ریشه صورت می‌گیرد. در این تحقیق از داده‌های اندازه‌گیری تاریخ کشت اول D_1 (۲۰ مرداد) در مرحله واسنجی استفاده شد.

همان‌طور که در (شکل ۱) نشان می‌دهد، در تاریخ کشت ۲۰ مرداد نتایج واسنجی قابل قبول بوده و همبستگی خوبی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، وجود دارد و دقت مدل در شبیه‌سازی سایه‌انداز پوشش سبز و مقدار عملکرد زیست‌توده بیشتر از مقدار رطوبت خاک است.

نتایج صحت‌سنجی مدل آکواکراپ

همان‌طور که قبلاً اشاره شد در این تحقیق برای صحت‌سنجی مدل از داده اندازه‌گیری تیمارهای مختلف آزمایشی، در تاریخ کاشت دوم D_2 (۱۰ شهریور) استفاده شده است که در آن پارامترهای به‌دست آمده در مرحله واسنجی بدون تغییر درنظر گرفته شد و پس از اجرای مدل مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی سایه‌انداز پوشش سبز، عملکرد زیست‌توده خشک و رطوبت خاک مقایسه یک به یک شدند.



شکل ۱. پراکنش مقایسه نتایج واقعی و برآورد شده در سطوح مختلف آبیاری پارامترهای پوشش سبز، عملکرد زیست‌توده و میزان رطوبت عمق خاک در تاریخ کشت اول (D1) ۲۰ مرداد طی فرایند واسنجی مدل

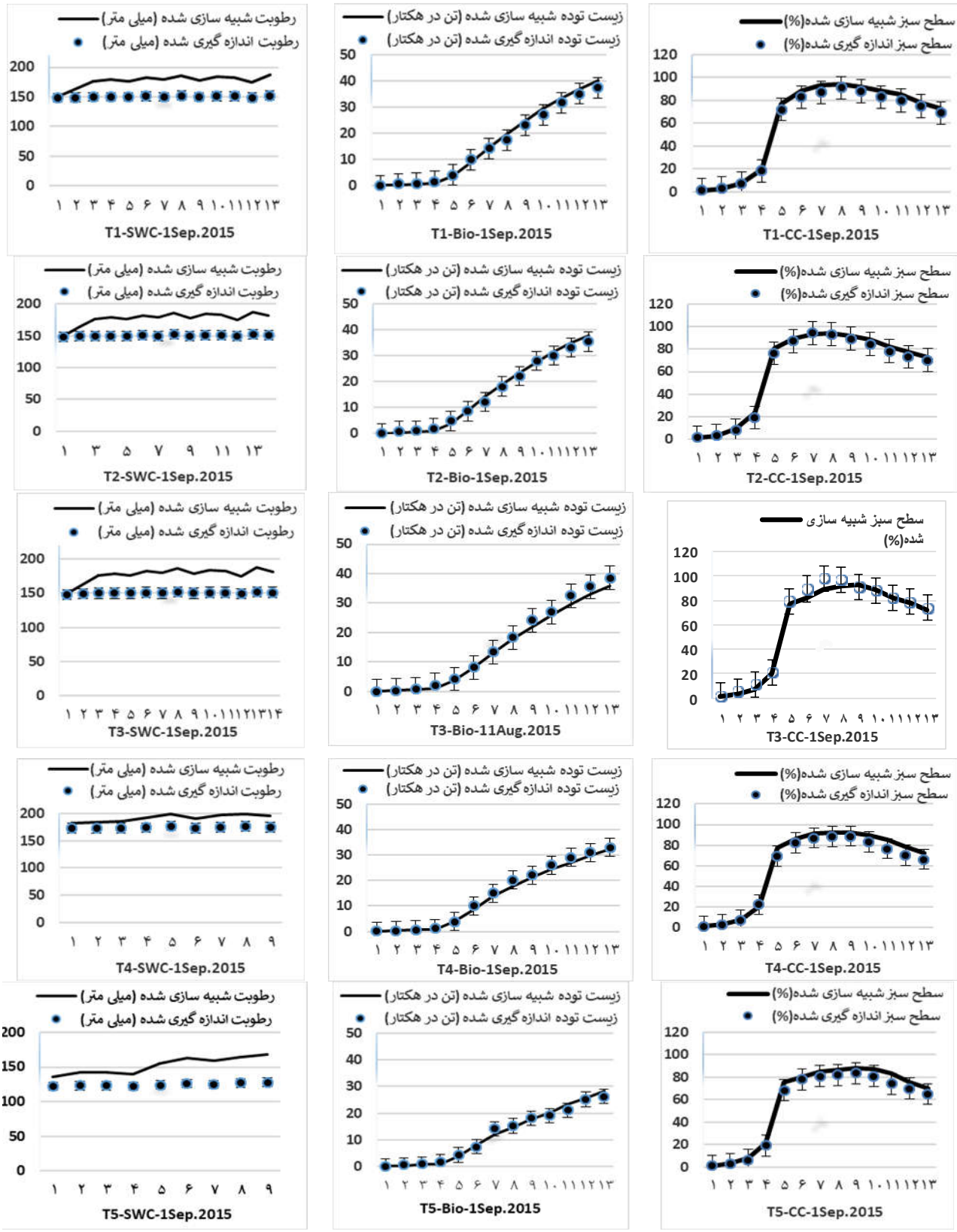
همان‌طور که شکل ۲ نشان می‌دهد، در تاریخ کشت ۱۰ شهریور نتایج صحت‌سنجی قابل قبول بوده و همبستگی خوبی بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، وجود دارد.

شکل ۳ پراکنش مقایسه نتایج واقعی و برآورد شده در سطوح مختلف آبیاری در تاریخ کشت اول (D_1) ۲۰ مرداد را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با وجود رژیم‌های مختلف آبیاری ۴۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی ضریب تعیین تقریباً ثابت مانده است و نشان می‌دهد که تغییرات سایه‌انداز پوشش سبز و عملکرد زیست‌توده خشک تا حدود ۹۹ درصد با استفاده از مدل آکواکراپ قابل پیش‌بینی است. اما درخصوص میزان رطوبت عمق خاک ضریب تعیین دامنه وسیع‌تری را دربر می‌گیرد از ۷۳ درصد تا ۹۶ درصد و این نشان‌دهنده این است که مدل آکواکراپ در برآورد میزان تخلیه رطوبتی نسبت به پوشش سبز و عملکرد زیست‌توده از اعتبار و توانایی کمتری برخوردار است.

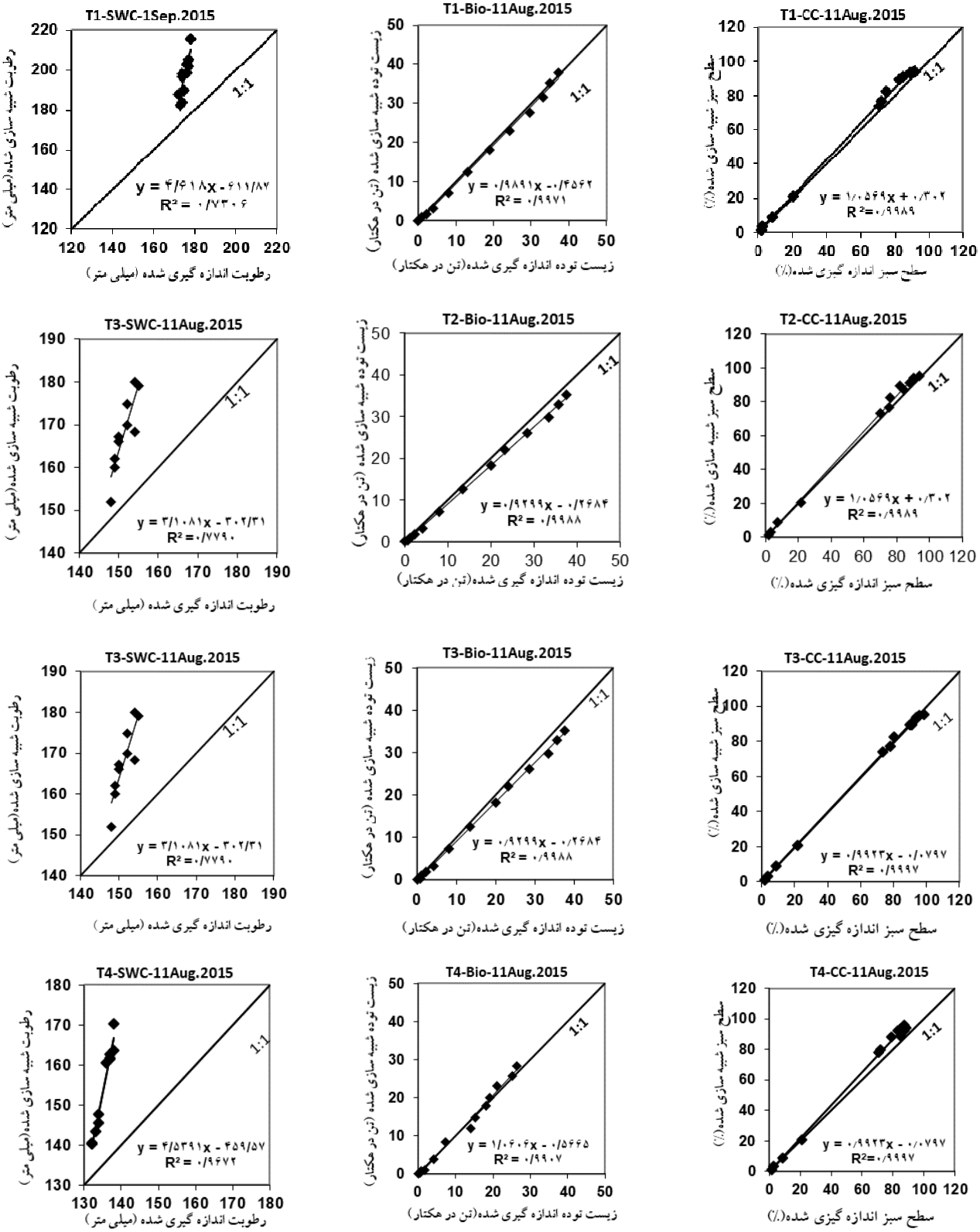
شکل ۳ پراکنش مقایسه نتایج واقعی و برآورد شده در سطوح مختلف آبیاری در تاریخ کشت اول (D_1) ۲۰ مرداد را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود با وجود رژیم‌های مختلف آبیاری ۴۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰ درصد تخلیه رطوبتی ضریب تعیین تقریباً ثابت مانده است و نشان می‌دهد که تغییرات سایه‌انداز پوشش سبز و عملکرد زیست‌توده خشک تا حدود ۹۹ درصد با استفاده از مدل آکواکراپ قابل پیش‌بینی است. اما در خصوص میزان رطوبت عمق خاک ضریب تعیین دامنه وسیع‌تری را دربر می‌گیرد از ۷۳ درصد تا ۹۶ درصد و این نشان‌دهنده این است که مدل آکواکراپ در برآورد میزان تخلیه رطوبتی نسبت به پوشش سبز و عملکرد زیست‌توده از اعتبار و توانایی کمتری برخوردار است.

همان‌طور که اشاره شد اگر مقدار NRMSE کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه‌سازی بسیار خوب (دقیق)، و اگر بیشتر از ۱۰ درصد و کمتر از ۲۰ درصد باشد. شبیه‌سازی خوب، اگر بین ۳۰– ۲۰ درصد باشد شبیه‌سازی متوسط و بیشتر از ۳۰ درصد باشد شبیه‌سازی ضعیف ارزیابی می‌شود (۳۰).

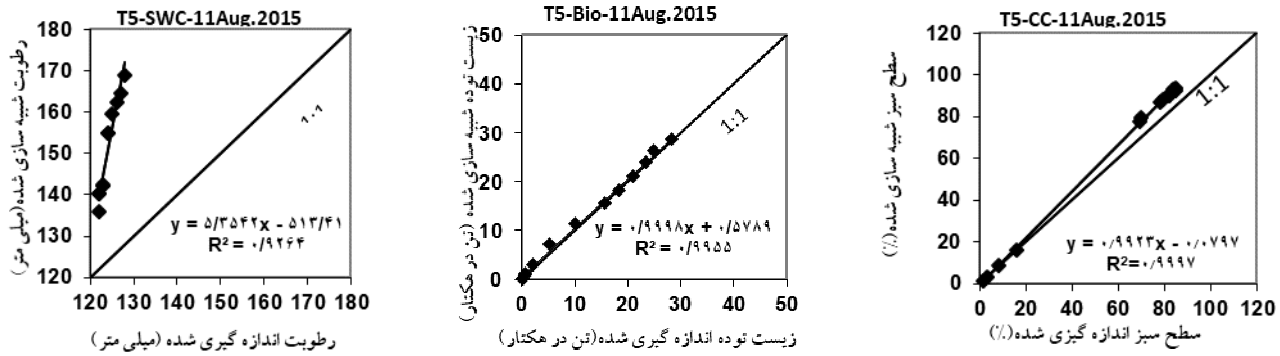
نتایج حاصل شبیه‌سازی روند پوشش سبز گیاهی در جدول ۴ در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی نشان می‌دهد RMSE (ریشه دوم مربعات خطا) در مرحله واسنجی تیمارهای D_1T_3 و D_1T_2 به‌ترتیب با ۱/۴ و ۴/۱ درصد کمترین میزان اختلاف بین پوشش سبز اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی را دارا هستند این دو تیمار همچنین با ضریب تعیین ۰/۹۹ و شاخص توافق ۰/۹۹ و ۱ پراکنش بسیار پایین و تطابق بسیار خوبی را بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. این دو تیمار همچنین با NRMSE (ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده) ۲/۱ و ۶/۸ درصد شبیه‌سازی بسیار خوب (دقیق) را نشان می‌دهد. همین حالت برای تیمارهای D_2T_3 و D_2T_2 در مرحله صحت‌سنجی وجود دارد و در این تیمارها RMSE به‌ترتیب با ۳/۸ و ۲/۳ درصد پوشش سبز و NRMSE، ۶/۱ و ۳/۸ درصد خطا کمترین میزان اختلاف بین مقدار اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده پوشش سبز را نشان می‌دهد ضریب تعیین و شاخص توافق در هردو برابر ۰/۹۹ پراکنش بسیار پایین و تطابق بسیار خوبی را بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. تیمارهای D_1T_1، D_1T_4 و D_1T_5 با مقادیر RMSE ۶/۹، ۸/۴ و ۱۰/۱ درصد پوشش سبز و NRMSE با مقادیر ۱۲، ۱۰/۵ و ۱۵/۶ نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب در این تیمارها است، هر سه تیمار با ضریب تعیین ۰/۹۹ از پراکنش پایین برخوردار هستند در مرحله صحت‌سنجی تیمارهای D_2T_1، D_2T_4 و D_2T_5 با مقادیر RSME به‌ترتیب ۹/۳، ۶/۱ و ۹/۹ و NRMSE ۱۳/۳، ۱۰/۷ و ۱۸/۳ درصد شبیه‌سازی را در محدوده خوب نشان می‌دهد. درخصوص تیمارهای D_1T_5 و D_2T_5 با شاخص توافق (d) ۰/۹۸ و ۰/۹۴ نسبت به تیمارهای D_1T_1، D_1T_4 و D_2T_1، D_2T_4 با شاخص توافق ۰/۹۹ از انطباق به‌نسبت کمتری برخوردار است و علت این ضعف در انطباق را می‌توان به دلیل کم‌آبیاری و تنش خشکی دانست پژوهشگرانی همچون فرهانی و همکاران (۱۰) نیز به نتیجه



شکل ۲. پراکنش مقایسه نتایج واقعی و برآورد شده در سطوح مختلف آبیاری پارامترهای پوشش سبز، عملکرد زیست‌توده و میزان رطوبت عمق خاک در تاریخ کشت دوم (D2) ۱۰ شهریور طی فرایند صحت‌سنجی مدل



شکل۳. نتایج واسنجی مدل آکواکراپ برای روند توسعه سایه انداز، روند تولید ماده خشک اندامهای هوایی و رطوبت خاک در تاریخ کشت اول (D_1) ۲۰ مرداد در ۵ سطح تخلیه رطوبتی با خط یک به یک



ادامه شکل ۳.

جدول ۴. معیار ارزیابی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی نیشکر

مرحله	تیمار	روند توسعه پوشش سبز گیاهی			
		ضریب تعیین(R^2)	RMSE (%)	NRMSE (%)	شاخص توافق (d)
واسنجی	D_1 T_1	۰/۹۹	۶/۹	۱۲	۰/۹۹
	D_1 T_2	۰/۹۹	۴/۱	۶/۸	۱
	D_1 T_3	۰/۹۹	۱/۴	۲/۱	۰/۹۹
	D_1 T_4	۰/۹۹	۸/۴	۱۰/۵	۰/۹۹
	D_1 T_5	۰/۹۹	۱۰/۱	۱۵/۶	۰/۹۴
صحت‌سنجی	D_2 T_1	۰/۹۹	۹/۳	۱۳/۳	۰/۹۸
	D_2 T_2	۰/۹۹	۲/۳	۳/۸	۱
	D_2 T_3	۰/۹۹	۳/۸	۶/۱	۱
	D_2 T_4	۰/۹۹	۶/۱	۱۰/۷	۰/۹۹
	D_2 T_5	۰/۹۹	۹/۹	۱۸/۳	۰/۹۸

مشابه رسیدند. با توجه به شکل ۲ در تمام تیمارها مقادیر شبیه‌سازی شده بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده و یا به عبارتی خطای بیش برآورد را نشان داد پژوهشگران دیگر همچون ابراهیمی و همکاران (۹) در شبیه‌سازی رشد ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آب و نیتروژن با مدل آکواکراپ، متوسط ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده، تخمین پوشش گیاهی (کل تیمارها) در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۲۲/۷۹ و ۲۱ درصد محاسبه کردند. در تحقیق انجام شده توسط مالیک و همکاران (۲۰) نیز در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، زیست‌توده و عملکرد ریشه چغندرقند تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و زراعی با مدل آکواکراپ، متوسط ریشه میانگین مربعات خطای تخمین پوشش گیاهی برای تمام تیمارها بین ۳ و ۱۶/۸۹ درصد و شاخص توافق بین ۰/۸۴ و ۰/۹۷ به‌دست آمد.

جدول ۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی روند زیست‌توده در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی را نشان می‌دهد به‌طوری که

RMSE (ریشه دوم مربعات خطا) در مرحله واسنجی تیمارها در محدوده ۰/۹۸ تا ۲/۸ تن در هکتار حاکی از خطای پایین در شبیه‌سازی است و در بین تیمارها ، تیمارهای D_1T_2 و D_1T_4 به‌ترتیب با مقادیر NRMSE، ۶/۲ و ۸/۸ درصد کمترین میزان اختلاف بین زیست‌توده اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی را دارا هستند و در محدوده شبیه‌سازی بسیار خوب (دقیق) قرار دارند و تیمارهای D_1T_1 ، D_1T_3 و D_1T_5 با مقادیر NMRSE، ۱۵/۲، ۱۵/۷ و ۱۱/۷ درصد در محدوده شبیه‌سازی خوب قرار دارند و تمام تیمارها با ضریب تعیین ۰/۹۹ و شاخص توافق ۱- ۰/۹۹ پراکنش بسیار پایین و تطابق بسیار خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی را نشان می‌دهند. در مرحله صحت‌سنجی نیز تمامی تیمارها با مقادیر RMSE، ۱/۱۳ تا ۲/۶۱ تن در هکتار شبیه‌سازی بسیار خوب را نشان می‌دهند که در بین آنها تیمار D_2T_5 با مقدار NMRSE ، ۹/۵ در محدوده شبیه‌سازی بسیار خوب و تمارهای D_2T_1، D_2T_2 ، D_2T_3 و D_2T_4 به‌ترتیب با مقادیر NRMSE، ۱۱/۱، ۱۰/۶، ۱۶ و ۱۲/۶ در محدوده شبیه‌سازی خوب و قابل قبول زیست‌توده قرار دارند. ضریب تعیین و شاخص توافق در تمام تیمارها با مقدار ۰/۹۹ پراکنش بسیار پایین و شاخص توافق ۰/۹۸ تا ۱ تطابق بسیار خوبی را بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد نتایج این پژوهش با تحقیقات سعیدی‌نیا و همکاران (۲۸) در برآورد زیست‌توده خشک و کریمی آورگانی و همکاران (۱۷) در تحقیق خود ضریب تعیین ۰/۸۶ تا ۰/۹۹ و متوسط ۰/۹۶ درصد و جذر میانگین خطا بین ۰/۴۱ تا ۰/۹۶ تن در هکتار به‌دست آوردند که نشان‌دهنده توانمندی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی زیست‌توده خشک است و شبیه‌سازی از نوع کم‌برآورد است. پژوهشگران دیگر چون ابراهیمی پاک و همکاران (۱۰) نیز در برآورد زیست‌توده با خطای بیشتر در تیمارهایی که تحت تنش آبی قرار داشتند نتایج مشابه در شبیه‌سازی عملکرد گیاه ذرت با مدل آکواکراپ به‌دست آوردند.

جدول ۶ نتایج حاصل شبیه‌سازی روند رطوبت خاک در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی را نشان می‌دهد که RMSE (ریشه دوم مربعات خطا) در مرحله واسنجی در تیمارهای مختلف در محدوده ۱۷/۶ تا ۲۹/۶ میلی‌متر قرار دارد که کمترین میزان اختلاف مربوط تیمار D_1T_1 با ۱۷/۶ میلی‌متر و بیشترین اختلاف مربوط به تیمار D_1T_5 با ۲۹/۶ میلی‌متر است و مقادیر NRMSE، از ۱۱/۶ تا ۲۳/۸ درصد است که در این بین تیمارهای D_1T_1، D_1T_2، D_1T_3 و D_1T_4 به‌ترتیب با مقادیر NRMSE، ۱۳/۸، ۱۱/۹، ۱۱/۶ و ۱۵/۴ در محدوده شبیه‌سازی خوب واقع شده و تیمار D_1T_5 با مقدار ۲۳/۸ درصد شبیه‌سازی متوسط را نشان می‌دهد. ضریب همبستگی (R^2) در تیمارها واسنجی با دامنه وسیع‌تر نسبت به پوشش سبز و زیست‌توده بین ۰/۷۳ تا ۰/۹۶ همبستگی خوب و قابل قبولی را بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده نشان می‌دهد. در مرحله صحت‌سنجی ضریب همبستگی (R^2) تیمارها از ۰/۸ تا ۰/۹۳ از همبستگی قابل قبولی برخوردار هستند و مقادیر RMSE در تیمارها از ۱۹/۵ تا ۳۱/۱ میلی‌متر خطا را نشان می‌دهند و مقادیر NRMSE از ۱۲/۲ تا ۲۲/۷ درصد خطا را نشان می‌دهد که در تیمارهای D_2T_1، D_2T_2 و D_2T_3 به‌ترتیب با مقادیر ۱۲/۲، ۱۶/۲ و ۱۸/۸ درصد شبیه‌سازی خوبی را نشان می‌دهد و تیمارهای D_2T_4 و D_2T_5 با مقدار مشابه ۲۲/۷ از شبیه‌سازی متوسط برخوردار است. این عملکرد متوسط در شبیه‌سازی رطوبت خاک می‌تواند ناشی از کارکرد مضاعف ایستگاه پمپاژ زهکش باشد که تخلیه آب تحت الارضی را با سرعت بیشتر تخلیه می‌کند و همن امر سبب می‌شود که رطوبت خاک سریع‌تر از زمان پیش‌بینی مدل به رطوبت مدنظر برسد، زندپارسا و همکاران (۳۰) نیز در پژوهش خود با استفاده از مدل آکواکراپ با میزان NMRSE برابر ۲۶ درصد علت کم شدن مقدار NMRSE در منظور نکردن حرکت آب در خاک مطابق منحنی مشخصه رطوبتی و هدایت هیدرولیکی خاک (معادله ریچاردز) و جذب گیاه مطابق مکش آب خاک در رطوبت‌های مختلف عنوان کردند. اما مبان و همکاران (۲۱) گزارش کردند که مدل آکواکراپ، رطوبت خاک را در لایه‌های

جدول ۵. معیار ارزیابی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی روند توسعه زیست‌توده

مرحله	تیمار	روند زیست‌توده			
		ضریب تعیین (R^2)	RMSE (t/ha)	NRMSE (%)	شاخص توافق (d)
واسنجی	D_1 T_1	۰/۹۹	۲/۸	۱۵/۲	۰/۹۹
	D_1 T_2	۰/۹۹	۰/۹۸	۶/۲	۱
	D_1 T_3	۰/۹۹	۲/۶۱	۱۵/۷	۰/۹۹
	D_1 T_4	۰/۹۹	۱/۱۲	۸/۸	۱
	D_1 T_5	۰/۹۹	۱/۳۴	۱۱/۷	۰/۹۹
صحت‌سنجی	D_2 T_1	۰/۹۹	۱/۷۱	۱۱/۱	۰/۹۸
	D_2 T_2	۰/۹۹	۱/۵۹	۱۰/۶	۱
	D_2 T_3	۰/۹۹	۲/۶۱	۱۶	۰/۹۹
	D_2 T_4	۰/۹۹	۱/۹۴	۱۲/۶	۰/۹۹
	D_2 T_5	۰/۹۹	۱/۱۳	۹/۵	۱

مختلف کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده، برآورد می‌کند.

کاربرد مدل برای برنامه‌ریزی آبیاری و تعیین آبیاری بهینه

به‌منظور ارزیابی برنامه‌های آبیاری با استفاده از مدل آکواکراپ ارزیابی سناریوهای مختلف آبیاری تیمار T_2 به‌شرح جدول ۶ انجام شد.

بر اساس ارزیابی صورت گرفته در اولین برنامه اعمال ۲۳ نوبت آبیاری (۹۰ میلی‌متر مصرف آب در هر نوبت)، عملکرد محصول (زیست‌توده)، ۳۹/۱۳۳ تن در هکتار به ازای ۲۰۷۰ میلی‌متر آب در کل دوره به دست آمده است که راندمان مصرف آب ۱/۴۹ و شاخص برداشت ۸۲ درصد. دومین برنامه شامل ۲۰ نوبت آبیاری (حذف نوبت‌های ۲۵، ۳۰۸ و ۴۳۰ روز پس از آبیاری) ومصرف آب ۱۸۰۰ میلی‌متر و راندمان مصرف آب ۱/۵۱ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب آب (۳۷/۹۷ تن در هکتار زیست‌توده) و شاخص برداشت ۸۰ درصد. سومین برنامه اعمال ۲۳ نوبت آبیاری که در نوبت اول آبیاری (خاک آب) مصرف ۹۰ میلی‌متر آب و پس از آن تا پایان فروردین ماه مصرف ۵۰ میلی‌متر آب در هر نوبت و مجدداً در ماه‌های اردیبهشت تا پایان شهریور ۹۰ میلی‌متر و مهر ماه ۵۰ میلی‌متر آب مصرف شد. در مجموع با مصرف ۱۷۱۰ میلی‌متر و بهره‌وری مصرف آب ۱/۵۳ کیلوگرم به‌ازای هر مترمکعب، بیشترین عملکرد زیست‌توده را با ۴۲/۲۷ تن در هکتار با شاخص برداشت ۸۹ درصد دارا بود. چهارمین برنامه آبیاری شامل ۲۳ نوبت آبیاری به‌ترتیب در نوبت اول آبیاری (خاک آب ۹۰ میلی‌متر آب، از نوبت دوم تا پایان اردیبهشت ۵۰ میلی‌متر و از خرداد تا پایان مرداد ۹۰ میلی‌متر، شهریور ۷۰ میلی‌متر و مهر ۵۰ میلی‌متر) در مجموع ۱۶۷۰ میلی‌متر آب با بهره‌وری ۱/۴۹ کیلوگرم بر متر مکعب و عملکرد ۳۷/۷۶ تن در هکتار زیست‌توده و شاخص برداشت ۷۹ درصد. بهترین سناریو مربوط به سومین پیشنهاد است که در آن مصرف آب ۱۷۱۰ میلی‌متر و راندمان مصرف آب ۱/۵۳ و عملکرد ۴۲/۲۷ تن در هکتار است که کاهش مصرف آب ۳۶۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد که این میزان آب معادل ۴ نوبت

جدول ۶. سناریوهای مختلف آبیاری تیمار T_2

پیشنهاد / صفت	1st	2nd	3nd	4nd	5nd
زیست‌توده خشک (تن در هکتار)	۳۹/۱۳	۳۷/۹۷	۴۲/۲۷	۳۷/۷۶	۳۶/۵۶
وزن خشک (تن در هکتار)	۳۲/۲۶	۳۲/۲۷	۳۵/۹۳	۳۲/۰۹	۳۱/۰۷
شاخص برداشت (٪)	۸۲	۸۰	۸۹	۷۹	۷۷
میزان آب مصرفی (میلی‌متر)	۲۰۷۰	۱۸۰۰	۱۷۱۰	۱۶۷۰	۱۶۳۰
بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۵۳	۱/۵۱	۱/۵
بستن روزنه	۷	۸	۵	۸	۱۰
فشار (شوری)	۲۲	۲۴	۱۴	۲۵	۲۹
نوبت آبیاری	۲۳	۲۰	۲۳	۲۳	۲۳

آبیاری است. در شرایط خشکسالی و کمبود آب می‌توان از سناریوی شماره ۵ با مصرف آب ۱۶۳۰ میلی‌متر و راندمان مصرف آب ۱/۵ و عملکرد ۳۶/۵۶ تن در هکتار، استفاده کرد به‌عبارتی میزان ۴۴۰ میلی‌متر کاهش مصرف آب در یک فصل زراعی با لحاظ متوسط مصرف آب ۷۱ میلی‌متر در هر نوبت آبیاری معادل۶ نوبت آبیاری در هر هکتار در هر فصل زراعی است. بر این اساس با درنظر گرفتن ۲۳ نوبت آبیاری در هر فصل زراعی به ازای صرفه‌جویی در هر ۳/۸ هکتار می‌توان یک هکتار به سطح زیر کشت اضافه کرد. از طرفی با درنظر گرفتن ده هزار هکتار سطح زیر کشت نیشکر در هر کشت و صنعت میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در یک فصل زراعی در زراعت نیشکر در شرایط خشکسالی و کمبود آب برابر ۴۴ میلیون متر مکعب است. به‌عبارتی با این صرفه‌جویی می‌توان سطح زیر کشت را به‌میزان ۲۶۹۹ هکتار افزایش داد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از مدل آکواکراپ به‌منظور شبیه‌سازی پوشش سبز (کنوپی)، عملکرد زیست‌توده و رطوبت خاک گیاه نیشکر تحت تیمارهای مختلف آبیاری مورد ارزیابی قرار گرفت. مقدار آماره NRMSE (ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی، زیست‌توده و رطوبت خاک در مرحله واسنجی به‌ترتیب بین ۲/۱ تا ۱۵/۳، ۶/۲ تا ۱۵/۷ و ۱۱/۶ تا ۲۳/۸ درصد و در مرحله صحت‌سنجی به‌ترتیب بین ۳/۸ تا ۱۷/۳، ۹/۵ تا ۱۶ و ۱۱/۲ تا ۲۲/۷ درصد به‌دست آمد. همچنین مقدار شاخص (d) توافق در شبیه‌سازی روند توسعه پوشش سبز گیاه و زیست‌توده در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی به‌ترتیب بین ۰/۹۴ تا ۱ و ۰/۹۹ تا ۱ و در مرحله صحت‌سنجی به‌ترتیب بین ۰/۹۸ تا ۱ و ۰/۹۹ تا ۱ تطابق بسیار خوبی در شبیه‌سازی را نشان داد. اما در شبیه‌سازی رطوبت خاک در تیمارهای مختلف آبیاری در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی نرم‌افزار تطابق ضعیفی را نشان داد. ضریب تعیین در پوشش سبز و عملکرد زیست‌توده تا حدود ۹۸ تا ۹۹ درصد با استفاده از مدل آکواکراپ قابل پیش‌بینی است. اما درخصوص میزان رطوبت عمق خاک ضریب تعیین دامنه وسیع‌تری داشت و در مرحله واسنجی بین ۰/۷۳ تا ۰/۹۶ و در مرحله صحت‌سنجی بین ۰/۸ تا ۰/۹۳ توانایی بالای مدل را نشان می‌دهد درحالی که مدل آکواکراپ در برآورد

جدول ۷. معیار ارزیابی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی روند رطوبت خاک

		رطوبت خاک			
مرحله	تیمار	ضریب تعیین (R^2)	RMSE (mm)	NRMSE (%)	شاخص توافق (d)
واسنجی	$D_1 T_1$	۰/۷۳	۲۴/۲	۱۳/۸	۰/۱۵
	$D_1 T_2$	۰/۸۰	۱۹/۳	۱۱/۹	۰/۲۱
	$D_1 T_3$	۰/۷۷	۱۷/۶	۱۱/۶	۰/۲۵
	$D_1 T_4$	۰/۹۶	۲۰/۸	۱۵/۴	۰/۲۲
	$D_1 T_5$	۰/۹۲	۲۹/۶	۲۳/۸	۰/۱۴
صحت‌سنجی	$D_2 T_1$	۰/۸۰	۱۹/۵	۱۲/۲	۰/۱۴
	$D_2 T_2$	۰/۸۹	۲۷/۲	۱۶/۲	۰/۱۱
	$D_2 T_3$	۰/۸۱	۲۸/۳	۱۸/۸	۰/۰۷
	$D_2 T_4$	۰/۹۲	۳۱/۱	۲۲/۷	۰/۰۵
	$D_2 T_5$	۰/۹۳	۲۸/۱	۲۲/۷	۰/۰۶

میزان تخلیه رطوبتی نسبت به پوشش سبز و عملکرد زیست‌توده از توانایی کمتری برخوردار است. مقدار ریشه مربعات خطا به‌جز تیمار D_1T_5 مرحله واسنجی در تمام موارد در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی کمتر از ۱۰ درصد به‌دست آمد. همچنین مقدار ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده به‌جز تیمار D_1T_5 تاریخ کشت ۲۰ مرداد (مرحله واسنجی) در موارد دیگر مراحل واسنجی و صحت‌سنجی کمتر از ۲۰ درصد به‌دست آمد. بنابراین شبیه‌سازی پوشش سبز و زیست‌توده به‌خوبی انجام گرفته است. مقادیر شاخص توافق (d) بسیار نزدیک به یک به‌دست آمد که تطابق خوبی بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی را نشان می‌دهد. در جدول ۷ مربوط به رطوبت خاک، پارامترهای آماری در هر دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی اندازه‌گیری شده که روند شبیه‌سازی شده در مقایسه با نتایج پارامترهای پوشش سبز و زیست‌توده از تطابق ضعیف‌تری برخوردار بود که بیانگر توانایی کمتر نرم‌افزار آکواکراپ در برآورد رطوبت خاک است. بهترین سناریو مربوط به سومین پیشنهاد است که در آن مصرف آب ۱۷۱۰ میلی‌متر و راندمان مصرف آب ۱/۵۳ و عملکرد ۴۲/۲۷ تن در هکتار است که کاهش مصرف آب ۳۶۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد که این میزان آب معادل ۴ نوبت آبیاری است. در شرایط خشکسالی و کمبود آب می‌توان از سناریوی شماره ۵ با مصرف آب ۱۶۳۰ میلی‌متر و راندمان مصرف آب ۱/۵۰ و عملکرد ۳۶/۵۶ تن در هکتار، استفاده کرد درنظر گرفتن ده هزار هکتار سطح زیر کشت نیشکر میزان صرفه‌جویی در مصرف آب در یک فصل زراعی در زراعت نیشکر در شرایط خشکسالی و کمبود آب برابر ۴۴ میلیون مترمکعب است. به‌عبارتی با این صرفه‌جویی می‌توان سطح زیر کشت را به میزان ۲۶۹۹ هکتار افزایش داد. به‌طور کلی نتایج نشان داد مدل آکواکراپ، توانسته پوشش گیاهی، زیست توده و عملکرد گیاه نیشکر را تحت تیمارهای مختلف آبیاری در منطقه مورد مطالعه به‌خوبی شبیه سازی کند لیکن در برآورد میزان تخلیه رطوبتی نسبت به پوشش سبز و عملکرد زیست‌توده از توانایی کمتری برخوردار است. با توجه به توانایی شبیه سازی پاسخ عملکرد گیاه نیشکر نسبت به تیمارهای مختلف آبیاری، این مدل می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پشتیبانی در تصمیم‌گیری و بهینه‌سازی برنامه آبیاری، توسط مهندسان آبیاری و کشاورزان در جهت بهبود مدیریت آب در کشت نیشکر مورد استفاده قرارگیرد.

منابع مورد استفاده

1. Abedinpour, M., A. Sarangi, T. B. S. Rajput, M. H. Singh, H. Pathak and T. Ahmad. 2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management* 110: 55-66.
2. Adboye, O. N., B. Schultz, K. O. Adekalu and K. Prasad. 2017. Modelling of response of the growth and yild of soybbean to full and deficit irrigation by using aquacrop. *Irrigation and Drainage* 66(2): 192-205.
3. Akumaga, U., A. Tarhule and A. A. Yusuf. 2017. Validation and testing of the AquaCrop model under different levels of nitrogen fertilizer on rainfed maize in Nigeria, West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology* 232: 225-234.
4. Andarzian, B., M. Bannayan, P. Steduto, H. Mazraeh, M. E. Barati, M. A. Barati and A. Rahnama. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management* 100(1): 1-8.
5. Araya, A., I. Kisekka and J. Holman. 2016. Evaluating deficit irrigation management strategies for grain sorghum using aquacrop. *Irrigation Science* 34(6): 465-481.
6. Babazadeh, H. and S. T. Mahdi. 2012. Assessment of aquacrop model under soybean deficit irrigation management condition. *Journal of Water and Soil* 26(2): 329-339.
7. Bahmani, O. and S. Eghbalian. 2018. Simulating the response of sugarcane production to water deficit irrigation using the AquaCrop Model. *National Academy of Agricultural Sciences* 7: 158-166.
8. Blum, A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research* 112(s 2-3): 119-123.
9. Ebrahimi, M., V. Rezaverdinejad and M. H. Abolfazl. 2015. Dynamic simulation through AquaCrop of maize growth under different management decisions of water application and nitrogen fertilizer use. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 46(2): 207-220.
10. Ebrahimipak, N. A., A. Egdarnejad and D. Khodadahi Dehkordi. 2017. Evaluation of AquaCrop model to simulate corn yield under low irrigation treatments and application of different levels of superabsorbent. *Journal of Irrigation and Water Engineering Research* 31: 166-183.
11. Farhani, H. J., G. Izzi and T. Y. Oweis. 2009. Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy Journal* 101: 469-476.
12. 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. Osco and P. Steduto. 2009. Simulating yield response of quinoa to water availability with aquacrop. *Agronomy Journal* 101: 499-508.
13. Golabi, M. and A. A. Naseri. 2015. Assessment AquaCrop model to predict the sugarcane yield and soil salinity profiles under salinity stress. *Iranian Water and Soil Research* 46(4): 685-694.
14. Hsiao, T. C., L. K. Heng, P. Steduto, B. Rojas-Lara, D. Raes, and E. Fereres. 2009. AquaCrop-the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for Maize. *Agronomy Journal* 101: 448-459.
15. IPCC-TGICA. 2007. General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Eds. Carter, T. R., Version 2, 71p. Intergovernmental Panel onClimate Change, Task Group on Data and Scenario Support for Impact and Climate Assessment.
16. Iqbal, M., Y. Shen, R. Stricevic, H. Pei, H. Sun, E. Amiri, A. Penas and S. Del Rio. 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, Elsevier* 135: 61-72.
17. Karimi Avargani, H., A. Rahimikhoob and M. H. Nazarifar. 2017. Evaluation of AquaCrop model in simulating barley biomass production under deficit irrigation. *Journal of Water Research in Agriculture* 31(3):341-353.
18. Katerji, N., P. Campi and M. Mastrorilli. 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.
19. Liu, J., D. Wiberg, A. Zehnder and H. Yang. 2007. Modeling the role of irrigation in winter wheat yield, crop water productivity and production in China, *Irrigation Science* 26: 21-23.
20. Malik, A., A. S. Shakir, M. Ajmal and M. JamalKhan. 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.
21. Mebane, V. J., R. L. Day, J. M. Hamlett, J. E. Watson and G. W. Roth. 2013. Validating the FAO AquaCrop model for rainfed maize in Pennsylvania. *Agronomy Journal* 105(2): 419-427.
22. Montoya, F., D. Camargo, J. F.Ortega, J. I Corcoles and A. Dominguez. 2016. Evaluation of AquaCrop model for a potato crop under different irrigation conditions. *Agricultural Water Management* 164: 267-280.

23. Moriasi, D. N., J. G. M. Arnold, W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel and T. L. Veith. 2007. Model Evaluation guidlines for systematic quantification of accurancy in watershed simulation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 50(3): 885-900.
24. Noorozi, M., M. Maherani and M. Maschi. 1999. Use of saline and brackish waters for irrigation. National Committee for Irrigation and Drainage of Iran No.26(2): 68.
25. Pawar, G. S., M. U. Kale and J. N. Lokhande. 2017. Response of AquaCrop model to different irrigation schedules for irrigated cabbage. *Agricultur Research* 6(1): 73-81.
26. Raes, D., P. Steduto, T. C. Hsiao and E. Fereres. 2009. AquaCrop-the FAO Crop model to simulate yield response to water II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal* 101: 438-447.
27. Saadati, Z., M. Delbari, Panahi and A. Ebrahim. 2018. Simulation of sugarbeet growth under water stress using AquaCrop model. *Journal of Water and Soil Protection* 7(3):1-18.
28. Saeedinia, M., A. Hooshman, S. Brooman Nasab, A. Soltani Mohammadi and B. Andarzian. 2014. Investigation of the effect of water irrigation salinity on the performance of CWSI index under the climatic conditions. Ph.D. Thesis. Chamran Ahwaz University. School of Water Engineering, Department of Irrigation and Drainage.
29. Soler, C. M. T., P. C. Sentelhas and G. Hoogenboom. 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.
30. Zand-parsa, Sh., S. Parvizi, A. R. Sepaskhah and M. Mahbod. 2016. Evaluation of simulated soil water content, dry matter and grain yield of winter wheat (cv. Shiraz) using WSM and AquaCrop models. *Journal of Water and Siol Science* 20(77): 59-70.

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 3, Fall 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Optimization and Management of Water Consumption in SugarCane Using the AquaCrop Simulation Model (Case Study: Amirkabir Industrial Cultivation, Khuzestan)

M. Abedinzadeh[1]*, A. M. Bakhshandeh[2], S. B. Andarzian[1], S. Jafari[1] and M. R. Moradi Telavat[1]

(Received: September 7-2020; Accepted: December 19-2020)

Abstract

Iran is located in the dry belt of the earth and is predicted to face water stress in the next half-century. Currently, the area of sugarcane cultivation in Khuzestan is over 85,000 hectares and due to the high water needs of sugarcane and drought conditions, optimization of water consumption and irrigation management is necessary to continue production. Therefore, in this study, the values of soil moisture, canopy cover, biomass yield in five treatments and irrigation levels (start of irrigation at 40%, 50%, 60%, 70%, and 80% soil moisture discharge) during 2 planting dates in the crop year 2015-2016 on sugarcane cultivar CP69-1062 in Amirkabir sugarcane cultivation and industry located in the south of Khuzestan was simulated by AquaCrop model. The measured data on the first culture date (D1) and the second culture date (D2) were used to calibrate and validate the model. The results of NRMSE statistics in canopy cover simulation in calibration and validation sets with values of 2.1 to 15.6% and 3.8 to 18.3%, respectively, and in biomass simulation with values of 6.2 to 15.2%, and 9.5 to 12.6%, respectively and coefficient of determination (R2), range 0.98 to 0.99 indicated that the high ability of the AquaCrop model in simulation canopy cover and biomass yield. whereas, the values of NRMSE of soil depth moisture in the calibration and validation sets ranged from 11.6 to 23.8, and 12.2 to 22.7, respectively, with a coefficient of determination (R2), 0.73 to 0.96 (calibration) 0.8 to 0.93 (validation) showed less accuracy of the model in the simulation. The best scenario is related to the third proposal that water consumption, water use efficiency, and yield are 1710 mm, 1.53, and 42.27 tons per hectare, respectively, which shows a reduction in water consumption of 360 mm.

Keywords: Calibration, Validation, Irrigation treatment, Canopy cover, Biomass

1. Plant Production Engineering and Genetics Department, Ramin Khuzestan University of Agriculture.
2. Agricultural Research and Training Center and Natural Resources of Khuzestan Province, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Ahvaz, Iran.
*: Corresponding author: m9332013@yahoo.com