

ارزیابی مدل DSSAT در برآورد بهره‌وری آب و عملکرد لوبیا چشم بلبلی در سطوح مختلف آب کاربردی

فرانک برادران هزاوه، حسین بابازاده^۱، ابراهیم امیری و حسین ابراهیمی

دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

hezaveh.hydro2005@gmail.com

استاد، گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

h_babazadeh@hotmail.com

استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

eamiri57@yahoo.com

دانشیار، گروه عمران آب، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

ebrahimi165@yahoo.com

دریافت: شهریور ۱۴۰۰ و پذیرش: دی ۱۴۰۰

چکیده

حبوبات بعد از گندم و برنج سهم عمده‌ای در رژیم غذایی در کشور دارند. رشد این گیاهان خیلی سریع بوده و تنش خشکی نقش مهمی در عملکرد آن دارد. هدف از این بررسی، ارزیابی مدل DSSAT در شبیه‌سازی رشد و عملکرد لوبیای چشم بلبلی در شرایط سطوح مختلف آب کاربردی است. بدین منظور، طرح آزمایشی اسپلیت پلات در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با سه تکرار در شهرستان کیشهر و در دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. تیمارهای اصلی شامل آبیاری با سطوح کاربردی ۴۰٪، ۶۰٪، ۸۰٪، ۱۰۰٪ و ۱۲۰٪ نیاز آبی گیاه و تیمار فرعی شامل آبیاری در مرحله رویشی، آبیاری در مرحله زایشی و آبیاری کامل بود. مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه با استفاده از آماره‌های ضریب تبیین، آزمون t، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (nRMSE)، ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تفاوت عملکرد دانه برآورد شده با عملکرد مشاهده شده (RMSE = 92 و nRMSE = 12.62%) قابل قبول بود. در مورد زیست‌توده نیز با توجه به شاخص‌های آماری ارزیابی، تفاوت مزبور در حد خوبی تبیین گردید. (RMSE = 130 و nRMSE = 5.91%). با استفاده از عملکرد دانه اندازه‌گیری شده و اجزای بیلان آب شبیه‌سازی شده از مدل DSSAT، مقدار بهره‌وری آب مبتنی بر تبخیر و تعرق (WPET) حدود ۳۳٪ کمتر از بهره‌وری مبتنی بر تعرق (WPT) محاسبه شد. با توجه به نتایج تحقیق، تیمار آبیاری در هر دو مرحله رویشی و زایشی برابر ۱۰۰٪ نیاز آبی بیشترین میزان تعرق (۳۸۳ میلی‌متر) را داشت و به عنوان مدیریت بهینه آبیاری در مراحل رشد انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، مدیریت آب، مدلسازی گیاهی

^۱ - آدرس نویسنده مسئول: گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

که باعث کاهش ۵۰ درصدی عملکرد دانه می‌شود، درحالی‌که تنش خشکی در مرحله رویشی، تفاوت معنی‌داری با شرایط نرمال ندارد و این نشان می‌دهد که گیاه در این مرحله می‌تواند تنش خشکی را تحمل کند. (احمد و سولیمان، ۲۰۱۰).

در آزمایشی باستوس و همکاران (۲۰۱۱) اثر تنش خشکی روی ۲۰ ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی در مرحله زایشی را ارزیابی کردند و نشان دادند که تنش خشکی باعث کاهش شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل، تعداد غلاف در بوته و عملکرد دانه می‌شود. اگر چه تنش آبی باعث می‌شود تا پتانسیل آب برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی کاهش یابد، ولی بعضی از پژوهشگران اثر کم آبیاری بر یکی از مراحل رشد را بیشتر از دیگر مراحل گزارش کرده‌اند (تانکاری و همکاران ۲۰۲۱).

استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به دلیل هزینه پایین، سرعت بالا و در اختیار قرار دادن اطلاعات کامل گزینه مناسبی برای تکمیل و توسعه نتایج آزمایش‌های مزرعه‌ای محسوب می‌شوند (کاندا و همکاران، ۲۰۲۰؛ نونز و همکاران، ۲۰۲۱؛ زائو و همکاران، ۲۰۲۰ و آکینبل، ۲۰۲۰) به‌طورکلی، هدف اصلی مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی، کاربرد آن به‌عنوان ابزاری تحلیلی برای مطالعه اثر مدیریت سامانه‌های کشت روی عملکرد محصول است. برای این منظور، اغلب مدل‌های گیاهی به شبیه‌سازی بیلان آب خاک، بیلان نیتروژن گیاه -خاک، فنولوژی گیاه، رشد ریشه، عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه می‌پردازند (لوملینگ و همکاران، ۲۰۲۰).

مدل گیاهی DSSAT به دلیل دقت، نیاز به داده‌های ورودی نسبتاً کم، قابلیت شبیه‌سازی مراحل مختلف رشد گیاهان متعدد، امکان بررسی بیلان آب و برآورد نیاز غذایی در شرایط منطقه‌ای و مدیریتی خاص، یکی از مدل‌های توانا در این زمینه بوده و به‌طور گسترده در سطح جهان استفاده شده است (هوگنبوم و همکاران، ۲۰۱۵؛ خیر و همکاران، ۲۰۱۹ و قوام سعیدی نوقابی و همکاران، ۱۳۹۹). در حال حاضر این مدل حاوی بیش از

لوبیا چشم بلبلی یکی از مهم‌ترین حبوبات سرشار از پروتئین بوده که توانایی زیادی در تثبیت زیستی نیتروژن خاک دارد و شاخه و برگ آن نیز به‌عنوان غذای دام مورد استفاده قرار می‌گیرد (صادقی‌پور و بنکدارهاشمی، ۲۰۱۵). تأثیر تنش آبی روی گیاهان یک موضوع مهمی است که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. تنش آبی باعث می‌شود تا پتانسیل آب برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی کاهش یابد. گیاهان در شرایط طبیعی با تنش‌های متعددی مواجه هستند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها تنش آبی است. این تنش به‌عنوان مهم‌ترین عامل محدودکننده رشد و تولید گیاهان شناخته شده است. تنش خشکی منجر به کاهش فتوسنتز، هدایت روزنه، تعرق و وضعیت آب گیاه و درنهایت باعث کاهش تولید زیست‌توده در بسیاری از محصولات کشاورزی از کم‌جمله لوبیا چشم بلبلی است (داریانتو و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به حساسیت گیاه لوبیا به تنش خشکی، عملکرد و تثبیت نیتروژن در این گیاه در شرایط کمبود آب شدید تحت تأثیر قرار می‌گیرد (محمود فیضیان و همکاران، ۱۳۹۵). باین‌حال، خشکسالی در طی مراحل مختلف رشد می‌تواند تقسیم و گسترش سلول‌ها را به‌طور متفاوتی کاهش دهد که در برخی مراحل رشد عملکرد کمتر و در برخی مراحل کاهش عملکرد بیشتر شود (فاتوکون و همکاران، ۲۰۱۲). پژوهشگران دیگر نیز در آزمایش‌های خود تأثیر کمبود آب در طول دوره رشد گیاه به‌ویژه در مرحله تشکیل و پر شدن دانه را بر عملکرد آن مورد تأیید قرار دادند (مایک-پرز، ۲۰۰۲؛ سامارا، ۲۰۰۵) در پژوهشی فرام و همکاران گزارش کردند که تنش رطوبتی باعث کاهش عملکرد دانه لوبیا می‌شود، اما کاهش عملکرد بسته به زمان و شدت تنش ممکن بسیار متفاوت باشد (قرام و همکاران، ۲۰۰۴).

تنش خشکی بر روی سه ژنوتیپ لوبیا چشم بلبلی در مراحل رویشی و زایشی نشان داد که حساس‌ترین مرحله به تنش خشکی، مرحله گلدهی است

۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه با ارتفاع متوسط ۵- متر از سطح دریا، در دو سال زراعی ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ انجام شد. داده‌های هواشناسی دوره مورد مطالعه، از ایستگاه هواشناسی کیشهر دریافت شد. قبل از آماده‌سازی زمین و مصرف کود شیمیایی، از خاک نقاط مختلف مزرعه در اعماق ۰-۶۰ سانتی‌متری برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به‌طور تصادفی نمونه‌برداری انجام شد.

در این بررسی، ابتدا زمین زراعی به‌طور کامل شخم زده شد. سپس طرح آزمایشی اسپلیت پلات در قالب بلوک کامل تصادفی در ۳ تکرار در زمین اجرا شد. هر واحد آزمایشی دارای ابعاد ۴×۲/۵ متر و دارای هفت ردیف کشت بود. تیمارهای اصلی شامل آبیاری با ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی که به ترتیب I₁ تا I₅ نامیده شده و تیمار فرعی شامل آبیاری در مرحله رویشی (M₁)، آبیاری در مرحله زایشی (M₂) و آبیاری کامل در مرحله رویشی و زایشی (M₃) بود. منظور از آبیاری کامل این بود که در هیچ یک از مراحل رشد آبیاری قطع نمی‌شود؛ اما در دو تیمار فرعی دیگر، آبیاری فقط در مرحله رشد مورد نظر انجام می‌شد. میزان آب مصرفی در مراحل مختلف رشد و به تفکیک هر تیمار در (شکل ۱) نشان داده شده است. آبیاری به روش سطحی انجام شد. کنترل فشار و اندازه‌گیری مقدار آب آبیاری در هر تیمار به ترتیب با استفاده از شیر قابل تنظیم و کنتور حجمی صورت گرفت. برای محاسبه نیاز آبی گیاه (ET_{crop}) از روش پنمن مونتیت فائو استفاده شد. نیاز آبی گیاه با استفاده از داده‌های هواشناسی و نرم‌افزار Cropwat8 محاسبه شد (اسمیت، ۱۹۹۲). همچنین، محاسبه تبخیر و تعرق مرجع در این نرم‌افزار بر پایه روش پنمن مونتیت فائو استوار است (الن و همکاران، ۱۹۹۸). نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد با استفاده از تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) و ضریب گیاهی (K_c) و روش دورنبوس و پرویت (۱۹۷۷) محاسبه شد (ET_{crop} = K_c × ET_o).

برای اندازه‌گیری عملکرد بیولوژیک در هر پلات پس از حذف دو ردیف کشت از طرفین، ۱۲ گیاه به‌طور تصادفی انتخاب شد. سپس غلاف‌ها، برگ‌ها و ساقه‌ها از

۴۲ مدل گیاهی بوده در بسیاری از کاربردهای مختلف زراعی، مدیریت دقیق، تغییر آب‌وهوا و تغییر اقلیم بر ارزیابی منطقه‌ای در بیش از ۱۰۰ کشور جهان استفاده شده است.

لوملینگ و همکاران (۲۰۱۴) از مدل DSSAT برای برآورد رشد، رشد و عملکرد گیاه لویا چشم بلبلی در شرایط دیم و آبی استفاده کردند و مقادیر RMSE را به ترتیب برای شبیه‌سازی زیست‌توده و عملکرد دانه، ۲۵ و ۲۰ و R² برای شبیه‌سازی زیست‌توده و عملکرد دانه ۰/۹۹ گزارش کردند. آن‌ها مدل را ابزاری قدرتمند در بررسی اثرات بلندمدت مدیریت‌های مختلف آب، زمان کشت و کوددهی معرفی کردند.

مدیریت منابع آب ایجاب می‌کند که از واحد حجم آب حداکثر بهره‌برداری صورت گیرد (پسپورا، ۲۰۰۶). در چنین شرایطی که کمبود آب آبیاری وجود دارد، اطلاع از واکنش گیاهان و میزان حساسیت به کم‌آبی از اهمیت به‌سزایی برخوردار است. میزان افت پتانسیل آبی که منجر به اثرات نامطلوب می‌شود، به نوع گیاه، مرحله رشد و فرایندی که مورد نظر است بستگی دارد.

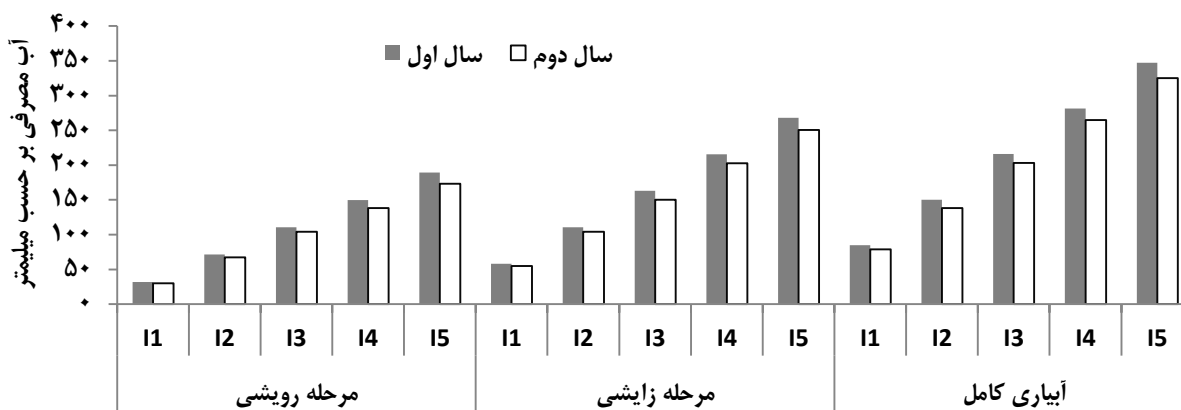
گیاه لویا چشم بلبلی از حبوبات اصلی در رژیم غذایی مردم شمال کشور است که دارای رشد سریع و از جمله گیاهان حساس به کم‌آبی است که بررسی مدیریت آبیاری در آن از اهمیت زیادی برخوردار است. بر این اساس توسعه، واسنجی و صحت‌سنجی مدل‌های گیاهی برای درک بهتری از اثرات بلندمدت مدیریت‌های مختلف آبیاری بر ویژگی‌های عملکردی این گیاه ضروری است. لذا پژوهش حاضر با هدف ارزیابی مدل گیاهی DSSAT و شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه چشم بلبلی و بهره‌وری آن در سطوح مختلف آب‌کاربردی در مراحل مختلف رشد آن اجرا شده است.

مواد و روش‌ها

این آزمایش در استان گیلان (شهرستان کیشهر) با عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه و طول جغرافیایی

جدا شده و تعداد ۱۰۰ بذر به‌طور تصادفی انتخاب و با ترازوی دقیق یک‌صدم توزین و برحسب گرم ثبت شد. زمان کاشت محصول هفت اردیبهشت‌ماه در هر دو سال بود و برداشت محصول در هفت چین ملاک عملکرد محصول بود. میزان آب مصرفی در طول دوره رشد گیاه از طریق آب آبیاری (تعیین مقدار آب آبیاری به‌وسیله کنتور) و مقدار بارندگی تأمین شد.

گیاه جدا شده و در داخل آون و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. بعد از خشک شدن، نمونه‌ها به‌وسیله ترازوی دقیق یک‌صدم توزین شد. عملکرد بیولوژیک برحسب گرم از مجموع وزن غلاف خشک (همراه با دانه)، وزن ساقه خشک و وزن برگ خشک، به دست آمد و سپس، به واحد کیلوگرم در هکتار تبدیل شد. برای تعیین وزن صد دانه در هر پلات، ۲۰۰ گرم غلاف خشک به‌عنوان نمونه انتخاب و از داخل غلاف



شکل ۱- میزان آب مصرفی در مراحل مختلف رشد طی دو سال آزمایش (تیمارها شامل: I1=40%, I2=60%, I3=80%, I4=100% و I5=120% نیاز آبی)

کشاورزی (DSSAT-CSM^۳). قرار دارد. تمام مدل‌های ویژه تعداد زیادی از گیاهان زراعی را با یکدیگر ترکیب می‌کند. مدل DSSAT فرآیندهای مربوط به گیاه زراعی و خاک را توصیف می‌کند. شماری از ورودی‌های مدل باید توسط آزمایش‌ها مزرعه‌ای تخمین زده و اندازه‌گیری شوند. مدل DSSAT می‌تواند به‌طور گسترده‌ای برای تعیین تأثیر شرایط محیطی، تصمیمات مدیریتی و ژنتیک گیاه بر هم‌دیگر و بر رشد و نمو گیاهان از جمله لوبیا چشم بلبلی مورد استفاده قرار می‌گیرد (هوگنبوم و همکاران، ۲۰۰۳). داده‌های ورودی مدل شامل داده‌های هواشناسی، ویژگی‌های خاک محل آزمایش و اطلاعات مربوط به عملکرد و فنولوژی اندازه‌گیری گیاه می‌شود. داده‌های هواشناسی شامل دمای حداقل و حداکثر، بارش و تابش خورشیدی است.

بر اساس جدول (۱)، بافت خاک محل آزمایش لومی بوده و از نظر مشخصات فیزیکی و شیمیایی برای کشت لوبیا چشم بلبلی مناسب است (سجادی و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین، جدول (۲) اطلاعات زراعی و شکل‌های (۲) و (۳) ویژگی‌های هواشناسی محل انجام طرح را نشان می‌دهد. بر اساس توصیه کودی آزمایشگاه خاک، کود اوره و سوپر فسفات تریپل، کلرید پتاسیم و گوگرد عنصری به ترتیب ۱۰۰، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم بر هکتار چند روز قبل از کاشت به خاک اضافه شد.

توصیف مدل DSSAT^۲

مدل DSSAT یک مدل رشد گیاه در سامانه زراعی است که در سیستم حمایت از تصمیم انتقال فناوری

^۳ -Cropping System Model

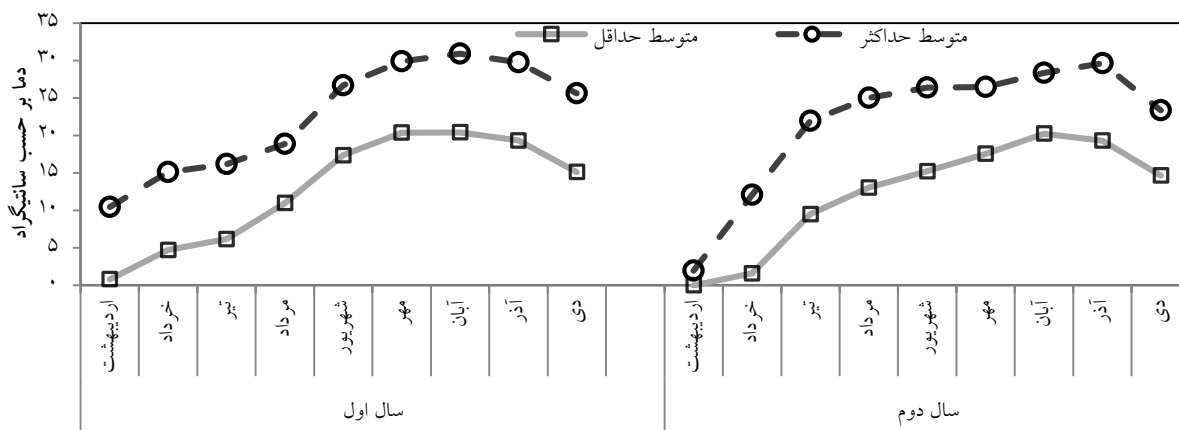
^۲ -Decision Support System for Agro technology Transfer

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایشگاه قبل از کاشت محصول لوبیا چشم بلبلی

عمق (cm)					ویژگی‌های خاک
۰-۵	۵-۱۵	۱۵-۳۰	۳۰-۴۵	۴۵-۶۰	
لوم	لوم	لوم	لوم	لوم	بافت
۴۹	۴۹	۴۹	۴۹	۴۹	شن (%)
۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	سیلت (%)
۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	رس (%)
۱/۳۶	۱/۴۰	۱/۴۶	۱/۴۶	۱/۴۷	چگالی ظاهری (g cm ⁻³)
۴۵/۹	۴۵/۹	۴۵/۹	۴۵/۲	۴۵/۲	رطوبت اشباع (% حجمی)
۲۵/۷	۲۵/۷	۲۵/۷	۲۵/۹	۲۵/۹	رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی (% حجمی)
۱۳/۷	۱۳/۷	۱۳/۷	۱۲/۶	۱۲/۶	رطوبت در نقطه پژمردگی (% حجمی)
۵/۳	۵/۴	۵/۷	۵/۸	۵/۸	pH
۱/۴۳	۱/۴۳	۱/۴۳	۱/۴۳	۱/۴۳	کربن آلی (%)
-۰/۰۸۳	-۰/۰۸۳	-۰/۰۸۳	-۰/۰۹۱	-۰/۰۹۱	نیترژن کل (%)
۶/۰۶	۶/۰۶	۶/۰۶	۶/۰۹	۶/۰۹	فسفر قابل جذب (ppm)
۲۳۰	۲۳۰	۲۳۰	۲۲۸	۲۲۸	پتاسیم قابل جذب (ppm)

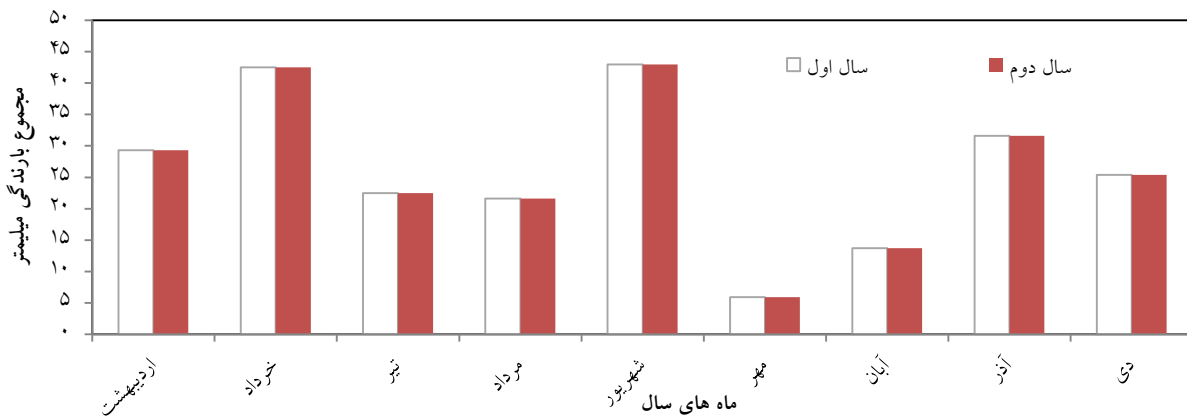
جدول ۲- مشخصات زراعی محصول لوبیا چشم بلبلی

سال زراعی	تاریخ کاشت	تاریخ جوانه‌زنی	تاریخ گل‌دهی	تاریخ برداشت	کل طول دوره رشد- روز ^۴
۱۳۹۶	۱۳ خرداد	۱۹ خرداد	۲۱ مرداد	۱۳ مهر	۱۲۶
۱۳۹۷	۱۳ خرداد	۱۹ خرداد	۲۲ مرداد	۱۸ مهر	۱۲۶



شکل ۲- حداقل و حداکثر دمای هوا (°C) ماهانه طی دوره‌های رشد لوبیا چشم بلبلی در فصل‌های رشد ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷ (به ترتیب به چپ به راست)

^۴- GDD, Growth Degree Days



شکل ۳- بارش ماهانه در دوره‌های رشد لوبیا چشم بلبلی در فصل‌های رشد ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷

که در آن‌ها: مقادیر مشاهده شده (O_i) و شبیه‌سازی شده (S_i), تعداد داده (n) است.

بیان و بهره‌وری آب

برای محاسبه اجزای بهره‌وری آب از روابط زیر استفاده شد (سینگ و همکاران، ۲۰۰۶):

$$WP_T = Yg/T \quad (3)$$

$$WP_{ET} = Yg/E+T \quad (4)$$

$$WP_I = Yg/I \quad (5)$$

$$WP_{I+R} = Yg/I+R \quad (6)$$

$$WP_{ETQ} = Yg/E+T+Q \quad (7)$$

که در آن‌ها:

WP_T , WP_{ET} , WP_{I+R} , WP_I و WP_{ETQ} اجزای بهره‌وری آب، Yg : مقدار عملکرد دانه (kg), T : مقدار تعرق واقعی (m^3), E : مقدار تبخیر (m^3), Q : مقدار نفوذ عمقی (m^3) و I : مقدار آبیاری (m^3) است.

نتایج و بحث

واسنجی و ارزیابی مدل

ضرایب ژنتیکی به‌دست‌آمده از واسنجی مدل DSSAT برای گیاه لوبیا چشم بلبلی در جدول (۳) آمده است. قابلیت استفاده از مدل DSSAT در سال‌های مختلف برای شبیه‌سازی عملکرد لوبیا و همچنین شبیه‌سازی

واسنجی و ارزیابی مدل DSSAT

مدل DSSAT با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده سال ۱۳۹۶ واسنجی و ارزیابی مدل بر پایه داده‌های سال ۱۳۹۷ انجام شد. به‌منظور ارزیابی نتایج شبیه‌سازی مدل DSSAT از ترکیب روش‌های گرافیکی (رگرسیون) و آماری استفاده شد. با توجه به این‌که هیچ‌کدام از پارامترهای مدل تاکنون بر اساس این دو سال آزمایش کالیبره نشده است، ارزیابی عملکرد مدل می‌تواند به‌عنوان اعتبار واقعی مورد توجه قرار گیرد (آکپونپ و همکاران، ۲۰۱۰). ترکیبی از اقدامات گرافیکی و آماری می‌تواند نشان دهد که چگونه یک مدل شبیه‌سازی انجام می‌شود (بومن و ون لار، ۲۰۰۶). به‌صورت گرافیکی عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده، میزان زیست‌توده در برداشت ارزیابی شده است. در این بررسی از آماره‌های میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، انحراف معیار (SD) مقادیر مشاهده (O_i) و شبیه‌سازی شده (S_i), شیب α , رهگیری β و ضریب تبیین (R^2) خط رگرسیون خطی بین شبیه‌سازی شده و مقادیر اندازه‌گیری شده استفاده شد. میانگین مربع خطاهای مطلق و نرمال شده ($RMSE$) و $RMSE_n$ نیز محاسبه شد:

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

$$RMSE_n = 100 \left(\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{O} \quad (2)$$

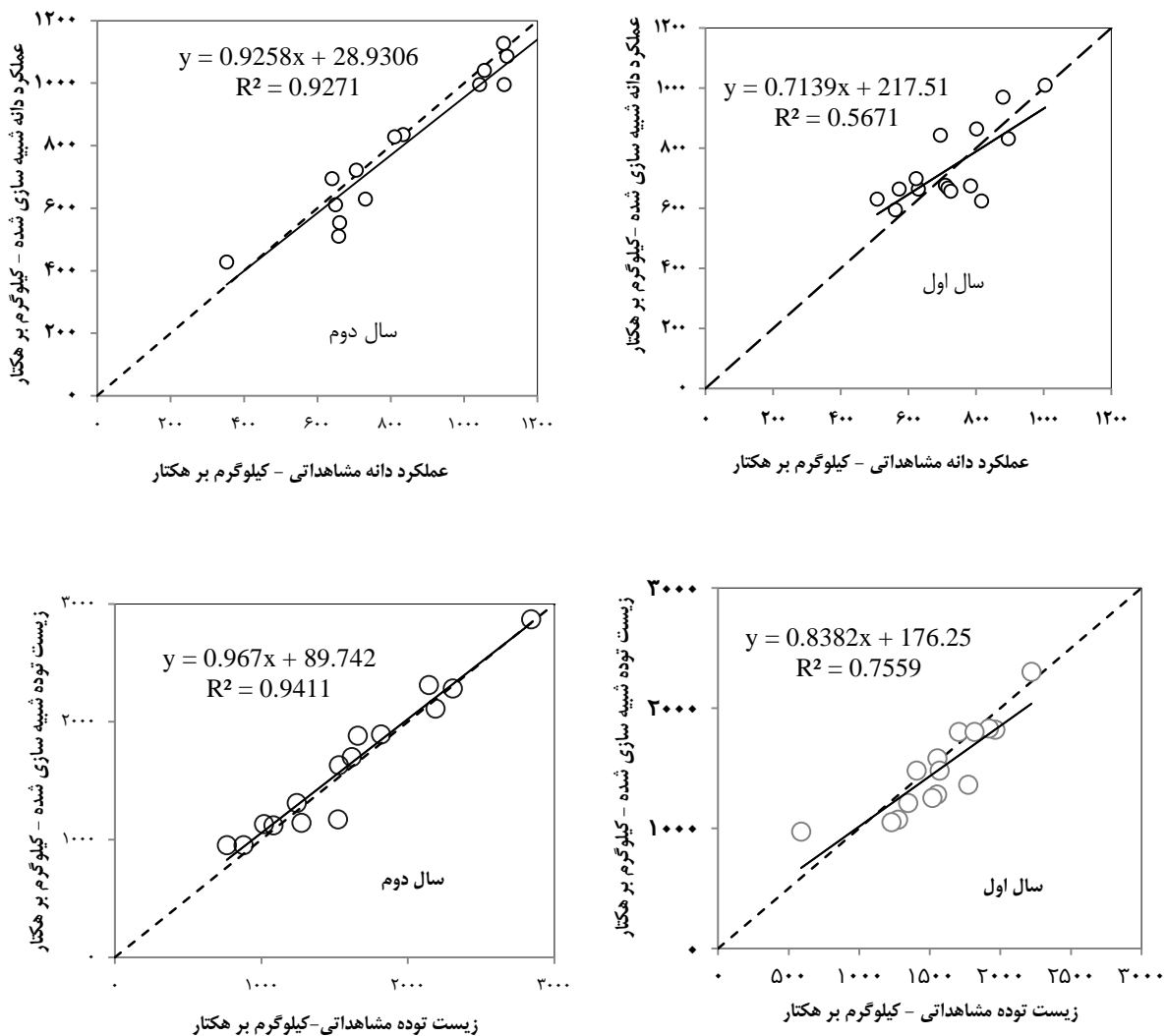
مقادیر مطلق و نرمال شده RMSE قابل قبول (جدول ۴)، شیب خط برازش یافته نزدیک به ۱ و β بالا (شکل ۴)، این مدل شبیه سازی زیست توده و عملکرد دانه را بسیار خوب انجام داده است. NRMSE بر حسب درصد بیان می شود و اختلاف میان داده های مشاهده ای و شبیه سازی شده به متوسط داده ها را نشان می دهد. اگر این مقدار کمتر از ۱۰ درصد باشد، شبیه سازی بسیار خوب، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، شبیه سازی خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، شبیه سازی نسبتاً خوب و اگر بالای ۳۰ درصد باشد، شبیه سازی ضعیف ارزیابی می شود (سولر و همکاران، ۲۰۰۷).

زیست توده کل لوبیا در سال های مختلف تحت مدیریت های آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه یاد شده در شکل (۴) نشان داده شده است.

جدول (۴) نتایج ارزیابی شبیه سازی عملکرد و زیست توده با مدل DSSAT برای شرایط واسنجی و اعتبار سنجی را نشان می دهد. نتایج نشان داد که عملکرد دانه برآورد شده با نتایج مشاهده شده ($RMSE = 92$ و $RMSEn = 12.62\%$) دارای اختلاف قابل قبولی بود. ماده خشک نیز به خوبی شبیه سازی شد ($RMSE = 130$ و $RMSEn = 5.91\%$). مقدار خطا در مرحله اعتبار سنجی کاهش یافته که دلیلی بر قبول نتایج مدل است. با عنایت به

جدول ۳- ضرایب ژنتیکی واسنجی شده برای لوبیا چشم بلبلی

ضریب	توصیف	پارامترهای ژنتیکی
۱۲/۸	طول روز کوتاه حیاتی که در زیر آن بدون اثر طول روز رشد ادامه می یابد (برای گیاهان روز کوتاه) (ساعت)	CSDL
۰/۲۹۴	نسبت پاسخ رشد به دوره نوری با زمان (مثبت برای گیاهان روز کوتاه) (در هر ساعت)	PPSEN
۳۶/۱۴	زمان بین ظهور گیاهچه و ظهور گل (R1) (روزهای فتوترمال)	EM-FL
۲/۵۰	زمان بین اولین گل و اولین غلاف (R3) (روزهای فتوترمال)	FL-SH
۵/۲۰	زمان بین اولین گل و اولین دانه (R5) (روزهای فتوترمال)	FL-SD
۴۸/۱۷	زمان بین اولین دانه (R5) و بلوغ فیزیولوژیکال (R7) (روزهای فتوترمال)	SD-PM
۱۷	زمان بین اولین گل (R1) و پایان رشد برگ (روزهای فتوترمال)	FL-LF
۱	حداکثر سرعت فتوسنتز برگ در ۳۰ درجه سانتی گراد، ۳۵۰ ولتاژ در دقیقه CO2 و نور زیاد (میلی گرم دی اکسید کربن/مترمربع-ثانیه)	LFMAX
۸۰	سطح برگ خاص رقم در شرایط رشد استاندارد (گرم/سانتی متر مربع)	SLAVR
۱۳۳	حداکثر اندازه برگ کامل (سه برگچه) (سانتی متر مربع)	SIZLF
۱	حداکثر کسری از رشد روزانه که به دانه + پوسته تقسیم می شود	XFRT
۰/۶۸	حداکثر وزن در هر دانه (گرم)	WTPSD
۱۴/۹۰	مدت زمان پر کردن بذر برای گروه غلاف در شرایط رشد استاندارد (روزهای فتوترمال)	SFDUR
۵/۲۰	بذر متوسط در هر غلاف در شرایط رشد استاندارد (بذر/غلاف)	SDPDV
۳۵	زمان لازم برای رقم برای رسیدن به بار غلاف نهایی در شرایط بهینه	PODUR
۶۶/۶	حداکثر نسبت (بذر / بذر + پوسته) در زمان بلوغ. باعث می شود که بذر با افزایش وزن خشک آن ها رشد کند تا زمانی که پوسته ها در یک گروه پر شوند.	THRESH
۰/۳	نسبت پروتئین در دانه (گرم پروتئین/گرم دانه)	SDPRO
۰/۰۶۵	نسبت روغن در دانه (گرم روغن/گرم دانه)	SDLIP



شکل ۴- ارزیابی مدل DSSAT برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده کل لوبیا چشم بلبلی در مدیریت‌های آبیاری در مراحل مختلف رشد

داد که میزان $RMSE_n$ ، $RMSE$ برای عملکرد دانه در مرحله صحت سنجی مدل به ترتیب برابر با ۵۴۱ کیلوگرم در هکتار، ۱۰ درصد بود. قوام سعیدی نوقابی و همکاران (۱۳۹۹) پس از واسنجی و صحت سنجی مدل DSSAT مقدار $NRMSE$ را برای تاریخ‌های گرده‌افشانی و رسیدگی فیزیولوژیک، حداکثر شاخص سطح برگ و عملکرد دانه، بسیار خوب (کمتر از ۱۰ درصد)، برای عملکرد بیولوژیک،

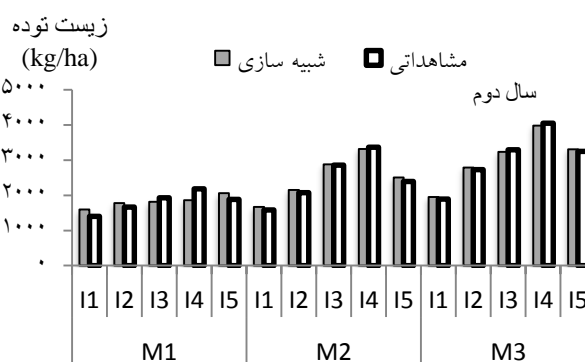
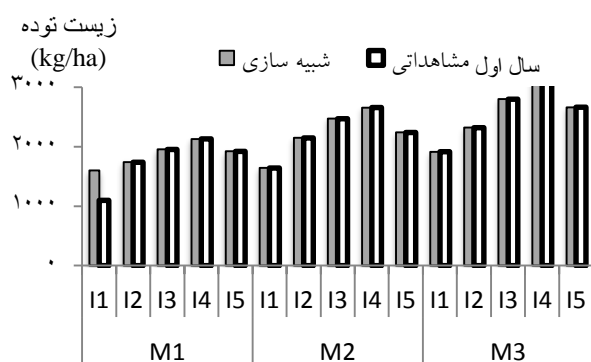
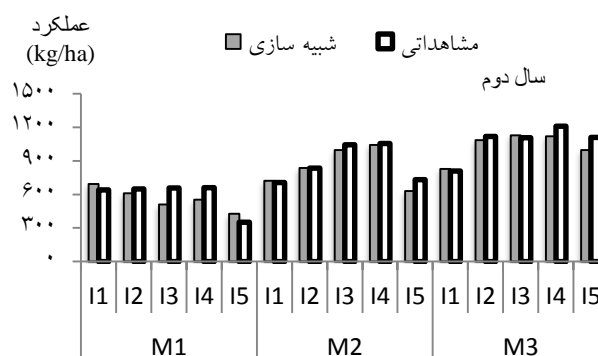
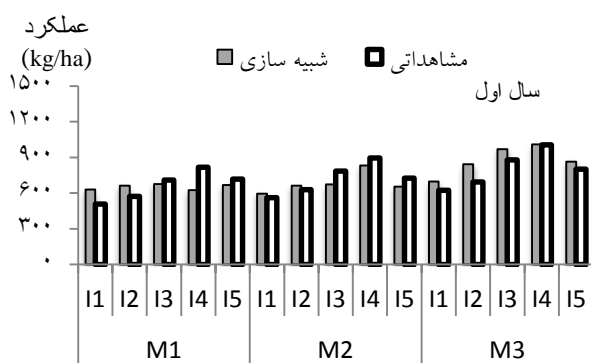
آزمون تی $P(t)$ بیشتر از ۰/۰۵ است که می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیست. همچنین، میانگین مربعات خطا از انحراف معیار مقادیر واقعی باید کمتر باشد که نتایج ارزیابی دقت معادلات در مدیریت‌های آبیاری در مراحل مختلف رشد گویای آن است. نتایج پژوهش سعادت و همکاران (۱۳۹۵) در شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری در منطقه مشهد نشان

به آماره‌های ارائه شده در جدول ۴ با دقتی قابل قبول شبیه‌سازی کرده است. همانند نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه، عملکرد بهتر مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده کل محصول در سال ۱۳۹۷ و در مرحله صحت سنجی به دست آمد.

خوب (بین ۱۰ تا ۲۰ درصد) و برای ماده خشک تولیدی، نسبتاً خوب (بین ۲۰ تا ۳۰ درصد) گزارش کرده‌اند. عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده و همین‌طور برای زیست‌توده کل در شکل (۵) ارائه شده است. مدل DSSAT عملکرد دانه را در سال ۱۳۹۷ با توجه

جدول ۴- ارزیابی شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده با مدل DSSAT برای شرایط واسنجی و اعتبارسنجی

سال	Crop variables	تعداد تیمار	مشاهده شده	شبیه‌سازی شده	Sd _o	CVs	α	β	R ²	RMSE (kg.ha ⁻¹)	RMSEn (%)
واسنجی											
۱۳۹۶	زیست توده کل (kg.ha ⁻¹)	۱۵	۲۱۹۹	۲۲۳۳	۵۳۹	۲۱/۳	۰/۸۶۳	۳۳۳/۵	۰/۹۵	۱۳۰	۵/۹۱
	عملکرد (kg.ha ⁻¹)	۱۵	۱۵۶۲	۱۴۸۵	۱۳۸	۲۴/۹	۰/۷۱۳	۲۱۷/۵	۰/۵۷	۹۲	۱۲/۶۲
صحت سنجی											
۱۳۹۷	زیست توده کل (kg.ha ⁻¹)	۱۵	۲۴۲۷	۲۴۶۰	۷۸۳	۳۰/۳	۰/۹۶۷	۱۶۸/۷	۰/۹۷	۱۲۹	۵/۲۹
	عملکرد (kg.ha ⁻¹)	۱۵	۸۴۵	۸۱۱	۲۴۷	۳۵/۸	۰/۹۲۵	۲۸/۹	۰/۹۳	۷۳	۸/۶۱

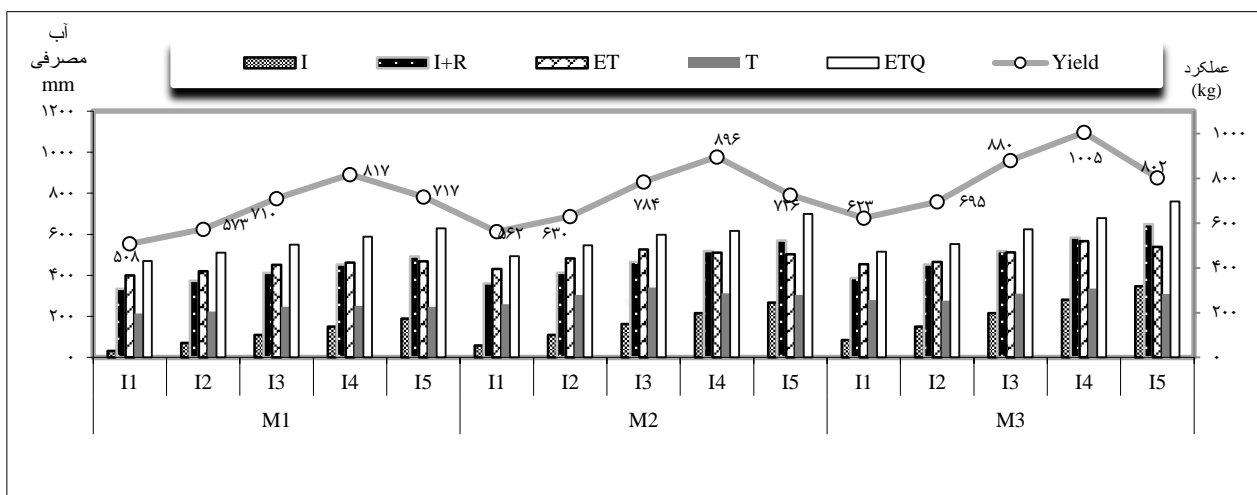


شکل ۵- شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده کل لوبیا چشم بلبلی در مدیریت‌های آبیاری در مراحل مختلف رشد با استفاده از مدل DSSAT (که در آن: آبیاری در مرحله رویشی (M1)، آبیاری در مرحله زایشی (M2) و آبیاری کامل در مرحله رویشی و زایشی (M3) و تیمارها آبیاری شامل: I1=40%، I2=60%، I3=80%، I4=100% و I5=120% نیاز آبی گیاه)

بیان آب

مقادیر بیان آب و عملکرد در مدیریت‌های آبیاری و تراکم‌های مختلف در شکل (۶) نشان داده شده است. در این بررسی، از مدل شبیه‌سازی DSSAT برای بررسی بهره‌وری آب و اجزای بیان آب در گزینه‌های مدیریتی تراکم و آبیاری استفاده شد. نتایج مدل نشان داد که مقدار تبخیر (E) ۲۲-۴۷ درصد مقدار تبخیر و تعرق (ET) است. عملکرد فیزیولوژیکی متغیر گیاه لوبیا چشم بلبلی در سطوح مختلف آب کاربردی در مراحل مختلف رشد و شرایط محیطی متغیر، منجر به نیازهای تعرق

مختلف شده و متعاقب آن مقدار تعرق (T) در گیاه تغییر می‌کند. تغییر روش آبیاری منجر به افزایش مقدار تعرق (T) می‌شود. بررسی مقدار تعرق در سطوح مختلف آب کاربردی در مراحل مختلف رشد نشان داد که مقدار تعرق در محدوده ۲۰۳-۳۸۳ میلی‌متر متغیر است؛ بیشترین میزان تعرق (T) در تیمار I₄M₃ به میزان ۳۸۳ میلی‌متر مشاهده شد (شکل ۶). نتایج مشابه توسط صالحی (۱۳۸۰) و نورعلی نژاد و همکاران (۲۰۱۹) نیز گزارش شده است. نتایج این آزمایش گویای آن است که عملکرد دانه در لوبیا با تنش کم‌آبی، به شدت آسیب می‌بیند.



شکل ۶- مقادیر عملکرد و بیان آب در مدیریت‌های آبیاری و دوره‌های رشد مختلف (که در آن: آبیاری در مرحله رویشی (M1)، آبیاری در مرحله زایشی (M2) و آبیاری کامل در مرحله رویشی و زایشی (M3) و تیمارها آبیاری شامل: I₁=40%، I₂=60%، I₃=80%، I₄=100% و I₅=120% نیاز آبی گیاه)

بررسی مقدار نفوذ عمقی (ETQ) در سطوح مختلف آب کاربردی در مراحل مختلف رشد نشان داد که مقدار نفوذ عمقی (ETQ) در محدوده ۲۸۹-۷۵۹ میلی‌متر متغیر است؛ نتایج مقدار نفوذ عمقی در دوره مورد مطالعه نشان داد که حداکثر مقدار تلفات آب از طریق نفوذ عمقی (ETQ) در سطح آب کاربردی با ۱۲۰ درصد نیاز آبی مشاهده شد.

بهره‌وری

مقادیر بهره‌وری آب در مدیریت‌های آبیاری در مراحل مختلف رشد در جدول (۵) ارائه شده است. بهره‌وری آب

بر اساس میزان تعرق بر روی مکانیسم گیاه بحث می‌کند و بستگی به نوع گیاه دارد. در نتیجه، WP_T برای گیاه چشم بلبلی، متغیر قابل‌سنجش بوده که به شرایط اکوهیدرولوژیکی بستگی دارد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مقدار WP_T در محدوده ۰/۱۳-۰/۳۸ کیلوگرم دانه به ازای هر متر مکعب تعرق متغیر است. این شاخص را وظیفه‌دوست و همکاران (۱۳۸۷) به ترتیب برای گندم، ذرت علوفه‌ای، آفتابگردان و چغندر قند ۰/۳۳، ۰/۳۳۸، ۱/۱۸ و ۱/۷۲ گزارش کردند. همچنین ابراهیمی‌راد و همکاران (۱۳۹۸) این شاخص را برای گیاه برنج ۱/۰۹ برآورد کردند. بهره‌وری آب بر اساس میزان تبخیر و تعرق بر روی مسائل

پژوهشی فنایی و همکاران (۲۰۱۷) در آزمایش‌های خود تأثیر کمبود آب در طول دوره رشد گیاه را بر عملکرد آن مورد تأیید قرار داده‌اند. وزارت و باستانسین بررسی‌هایی بر روی بهره‌وری مصرف آب در محصولات مختلف انجام دادند و مشخص کردند که بهره‌وری مصرف آب دارای دامنه تغییرات گسترده‌ای برای گیاهان مختلف است (وزارت و باستانسین، ۲۰۰۴). به‌طور کلی تیمارهای تحت تنش خشکی نسبت به تیمارهای بدون تنش کارایی مصرف آب بالاتری داشتند که این امر می‌تواند به دلیل میزان کمتر آب به‌کاربرده شده در این تیمارها باشد. احمد و سلیمان، افزایش کارایی مصرف آب را در نتیجه اعمال تنش خشکی گزارش کرده‌اند. آن‌ها علت این آمار را دلایل متعددی از جمله به‌هدررفت آب از طریق تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی بیشتر در تیمار آبیاری کامل دانستند (احمد و سلیمان، ۲۰۱۰).

مربوط به خاک و گیاه و سایه‌انداز بحث می‌کند و بستگی به نوع خاک و اقلیم و گیاه دارد. کمبود اجتناب‌ناپذیر آب به علت تبخیر از سطح آب و خاک اشباع (E)، منجر به کاهش بهره‌وری آب از WP_T به WP_{ET} می‌شود؛ به‌طور متوسط مقدار WP_{ET} ، ۳۳ درصد کمتر از WP_T است. متوسط مقدار اجزای بهره‌وری آب مبتنی بر آبیاری، تبخیر و تعرق، تعرق و مجموع تبخیر و تعرق و نفوذ عمقی (WP_{ETQ} ، WP_T ، WP_{ET} ، WP_{I+R} ، WP_I) به ترتیب ۰/۶۷، ۰/۲۵، ۰/۱۹، ۰/۲۸ و ۰/۱۷ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد. تنش آبی باعث می‌شود تا پتانسیل آب برگ و فعالیت‌های فتوسنتزی کاهش یابد. تنش رطوبتی در گیاهان تابعی از میزان - سا سیت آن‌ها در مراحل مختلف رشد است. به‌طور کلی تجمع ماده خشک در لوبیا چشم بلبلی با افزایش شدت تنش رطوبتی، کاهش می‌یابد (امیدی و سپهری، ۱۳۹۳). در

جدول ۵- مقادیر بهره‌وری آب در مدیریت‌های آبیاری در مراحل مختلف رشد

تیمار	سال										
	۱۳۹۶					۱۳۹۷					
	WP_I	WP_{I+R}	WP_{ET}	WP_T	WP_{ETQ}	WP_I	WP_{I+R}	WP_{ET}	WP_T	WP_{ETQ}	
M1	I1	۰/۵۸	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۱۱	۲/۱۳	۰/۴۵	۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۲۲
	I2	۰/۸۰	۰/۱۵	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۹۷	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۲۰
	I3	۰/۶۴	۰/۱۷	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۱۳	۰/۶۳	۰/۳۰	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۱۸
	I4	۰/۵۵	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۳۲	۰/۱۴	۰/۴۸	۰/۲۶	۰/۲۱	۰/۳۰	۰/۱۷
	I5	۰/۳۸	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۲۹	۰/۱۱	۰/۲۰	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۳	۰/۰۸
M2	I1	۰/۹۷	۰/۱۶	۰/۱۳	۰/۲۲	۰/۱۱	۱/۲۹	۰/۴۲	۰/۲۳	۰/۳۰	۰/۲۳
	I2	۰/۵۷	۰/۱۵	۰/۱۳	۰/۲۱	۰/۱۲	۰/۸۰	۰/۳۸	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲۵
	I3	۰/۴۸	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۲۳	۰/۱۳	۰/۶۹	۰/۴۰	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۲۷
	I4	۰/۴۲	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۲۹	۰/۱۵	۰/۵۲	۰/۳۳	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۲۵
	I5	۰/۲۷	۰/۱۳	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۱۰	۰/۲۹	۰/۲۰	۰/۱۹	۰/۲۶	۰/۱۶
M3	I1	۰/۷۴	۰/۱۶	۰/۱۴	۰/۲۲	۰/۱۲	۱/۰۳	۰/۴۲	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۲۶
	I2	۰/۴۶	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/۸۱	۰/۴۵	۰/۲۹	۰/۳۸	۰/۲۹
	I3	۰/۴۱	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۲۸	۰/۱۴	۰/۵۵	۰/۳۵	۰/۲۶	۰/۳۴	۰/۲۵
	I4	۰/۳۶	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۴۶	۰/۳۲	۰/۲۴	۰/۳۱	۰/۲۴
	I5	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۱۱	۰/۳۴	۰/۲۵	۰/۲۳	۰/۳۱	۰/۱۹

(که در آن: آبیاری در مرحله رویشی (M1)، آبیاری در مرحله زایشی (M2) و آبیاری کامل در مرحله رویشی و زایشی (M3) و تیمارها آبیاری شامل: I1=40%، I2=60%، I3=80%، I4=100% و I5=120% نیاز آبی گیاه)

سطوح مختلف آب کاربردی در مراحل رشد گیاه برخوردار است. نتایج نشان داد که به‌منظور بهبود بخشیدن بهره‌وری آب لوبیا چشم بلبلی، کاهش میزان جزء تبخیر از تبخیر و تعرق کل حائز اهمیت است. همچنین در بین سطوح

نتیجه‌گیری

به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که مدل DSSAT از توانایی و دقت قابل قبولی (خطای کمتر از ۱۰ درصد) برای شبیه‌سازی عملکرد لوبیا چشم بلبلی در

مختلف آب کاربردی، آبیاری با مدیریت ۱۰۰ درصد نیاز
 آبی I= و آبیاری کامل (در مرحله رویشی و زایشی) =M₃
 با متوسط عملکرد دانه ۱۲۰۹ کیلوگرم در هکتار و بیشترین
 بهره‌وری تعرق (WPT برابر ۰/۳ کیلوگرم در مترمکعب)
 گزینه مناسب آب کاربردی برای گیاه چشم‌بلبلی در منطقه
 طرح آزمایشی است.

فهرست منابع

۱. ابراهیمی راد، ح.، و بابازاده، ح.، و امیری، ا.، و صدقی، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی بیلان و بهره‌وری آب برنج تحت مدیریت‌های آبیاری و تراکم کاشت با استفاده از مدل‌های Ceres-Rice و ORYZA2000. مجله آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۱)، ۱۶۵-۱۷۶. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=489582>
۲. امیدی، ف. و سپهری، ع. ۱۳۹۳. تأثیر کاربرد نیتروپرو ساید سدیم بار سطح برگ، رشد و کارایی مصرف آب ارقام لوبیا قرمز تحت تنش کم‌آبی. به زراعی کشاورزی، دوره ۱۶، شماره ۴، ۸۵۵ - ۸۷۱. doi: 10.22059/jci.2015.53252
۳. سجادی، ز.، موسوی، س. و معاف پوریان، غ. ۱۳۹۴. نقش بافت و مقدار ماده آلی خاک (خاک‌برگ) بر توانایی *Trichoderma longibrachiatum* در تحریک رشد گیاه لوبیا قرمز و کنترل نماتد *Meloidogyne javanica*. دانش گیاه پزشکی ایران (علوم کشاورزی ایران)، ۴۶(۲)، ۲۲۷-۲۴۰. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=268444>
۴. سعادت، ز.، دلبری، م.، امیری، ا.، پناهی، م.، رحیمیان، م. ح. و قدسی، م. ۱۳۹۵. ارزیابی مدل CERES-Wheat در شبیه‌سازی عملکرد ارقام گندم تحت تیمارهای مختلف آبیاری. مجله حفاظت منابع آب و خاک. ۵(۳): ۷۳ - ۸۵.
۵. صادقی‌پور، ا. و بنکدارهاشمی نیلگون. ۱۳۹۴. بررسی اثر کاربرد برا سینولید در تحمل به خشکی لوبیا چشم بلبلی (*Vigna unguiculata L. Walp*). مجله علمی فیزیولوژی گیاهان زراعی. ۷(۲۶): ۵۷-۷۰.
۶. قوام سعیدی نوقابی، س.، یعقوب‌زاده، م.، شهیدی، ع.، حمامی، ح. و کلانکی، م. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل DSSATv4.7 در شبیه‌سازی مراحل فنولوژیکی و عملکرد گندم رقم آنفارم ۴ تحت سطوح مختلف آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴(۲)، ۵۴۸-۵۵۸.
۷. محمد فیضیان، م.، همتی، ا.، اسدی رحمانی، ه. و عزیزی، خ. ۱۳۹۵. بررسی اثرات سویه‌های باکتری ریزوبیوم در عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چیتی در شرایط تنش خشکی. طرح تحقیقاتی. ایستگاه تحقیقات کشاورزی اقلید.
۸. وظیفه دوست، م.، و علی زاده، ا.، و کمالی، غ.، و فیضی، م. ۱۳۸۷. افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در مزارع تحت آبیاری منطقه برخوار اصفهان. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۲(۲)، ۴۸۴-۴۹۵. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=91265>
9. Ahmad, F.E. and Suliman, A.S.H. 2010. Effect of water stress applied at different stages of growth on seed yield and water-use efficiency of Cowpea. Agriculture and Biology Journal of North America, 1(4):534-540.
10. Ahmadpour Abnvi, S., Ramroudi, M., Galavi, M. and Shamsaddin Saied, M. 2019. Effect of biological and chemical phosphorus fertilizer on yield and yield components of safflower (*Carthamus tinctorius L.*) under low irrigation conditions. Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(1):269-284.
11. Akinbile, C.O. 2020. Crop water requirements, biomass and grain yields estimation for upland rice using CROPWAT, AQUACROP and CERES simulation models. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 22(2):1-20.

12. Akponikpe, P.B., Gerard, B., Michels, K. and Biielders, C. 2010. Use of the APSIM model in longterm simulation to support decision making regarding nitrogen management for pearl millet in the Sahel. *European Journal of Agronomy*, 32 (2):144–154.
13. Allen, R., Pereira, L.A, Raes, D., and Smith, M. 1998. *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56*. FAO, Rome, Italy.
14. Bastos, E.A., Nascimento, S.P., Silva, E.M., Filho, F.R.F. and Gomide, R.L. 2011. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. *Revista Ciência Agrônômica*, 42(1):100-107.
15. Bouman, B. A. M. and Van Laar, H.H. 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions, *Agricultural Systems*, 87:249–273.
16. Ceritoğlu, M. and Erman, M. 2020. Determination of some agronomic traits and their correlation with yield components in cowpea. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 34(2):154-161.
17. Daryanto, S., Wang, L. and Jacinthe, P.A. 2017. Global synthesis of drought effects on cereal, legume, tuber and root crops production: a review. *Agric. Water Management*, 179:18–33.
18. Doorenbos, J. and Pruitt, WO. 1977. *Guidelines for predicting crop water requirements*. FAO. Irrigation and Drainage, Italy, Rome, Paper No. 24.FAO. 2010. FAOSTAT. Available in <http://faostat.fao.org/>[28 May 2010].
19. Fanaei, H.R., Azmal, H. and Piri, I. 2017. Effect of biological and chemical fertilizers on oil, seed yield and some agronomic traits of safflower under different irrigation regimes. *Journal of Agroecology* 8(4): 551-566.
20. Fatokun, C.A., Boukar, O., Muranaka, S., 2012. Evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) germplasm lines for tolerance to drought. *Plant Genet. Res.* 10:171–176.
21. Frahm, M.A., Rosas, J.C., Mayek-Perez, M., Lopez- Salinas, E., Acosta-Gallegos, J.A. and Kelly, J.D. 2004. Breeding beans for resistance to terminal drought in the lowland tropics. *Euphytica*, 136(2): 223-232.
22. Hoogenboom, G., Jones, J. W., Porter, C. H., Wilkens, P. W., Boote, K. J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A. and Tsuji, G. Y. 2003. *Decision Support System for Agrotechnology Transfer version 4.0. Volume 1: Overview*. University of Hawaii, Honolulu, HI, 2.
23. Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T. 2003. The CERES-WHEAT cropping system model. *European Journal of Agronom*, 18:235-265.
24. Kanda, E. K., Senzanje, A. and Mabhaudhi, T. 2020. Calibration and validation of the Aqua Crop model for full and deficit irrigated cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 102941.
25. Lomeling, D. and Huria, S.J. 2020. Using the DSSAT-CROPGRO model to simulate gross margin and N-leaching of cowpea fertigated with human urine. *Archives of Agriculture and Environmental Science*, 5(1): 1-10
26. Lomeling, D., Kenyi, M.M., Abass, A.A., Otware, S.M., Khater, Y and .M, 2014. Using the CROPGRO model to predict phenology of cowpea under rain-fed conditions. *International Journal of Plant & Soil Science*, 3:824-844.
27. Mayek-Perez, N., Garica-Espinosa, R., Lopez-Castanda, C., Acosta-Gallegos, J.A. and Simpson, J. 2002. Water relations, histopathology and growth of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) during pathogenesis of *Macrophomina phaseolina* under drought stress. *Physiological and Molecula Plant Pathology* 60: 158-195.
28. Nouralinezhad, A.R., Babazadeh, H., Amiri, E. and Sedghi, H. 2019. The yield evaluation and water productivity on common bean and cowpea in irrigation management condition and nitrogen fertilizer. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 13(4):1010-1026.
29. Nunes, H. G. G. C., Farias, V. D. S., Sousa, D. P., Costa, D. L. P., Pinto, J. V. N., Moura, V. B. and Souza, P. J. O. P. 2021. Parameterization of the AquaCrop model for cowpea and assessing the impact of sowing dates normally used on yield. *Agricultural Water Management*, 252, 106880.

30. Passioura, J. 2006. Increasing crop productivity when water is scarce-from breeding to field management. *Agriculture Water Management*, 80:176-196.
31. Samarah, N.H. 2005. Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agronomy for Sustainable Development*, 25:145-149.
32. 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.
33. Singh R., Van Dam, J.C. and Feddes, R.A. 2006. Water productivity analysis of irrigated crops in Sirsa district, India, *Agriculture Water Management*, 82:253-278
34. Smith M. 1992. CROPWAT, a computer program for irrigation planning and management. *FAO irrigation and Drainage*, Italy, Rome. Paper No. 26.
35. 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 of Agronomy*, 27(2-4):165-177.
36. Stoyanov, Z.Z. 2005. Effects of water stress on leaf water relations of young beans. *Central European Agriculture*, 6(1):5-14.
37. Tankari, M., Wang, C., Ma, H., Li, X., Li, L., Soothar, R.K., Cui, N., Zaman-Allah, M., Hao, W., Liu, F. and Wang, Y., 2021. Drought priming improved water status, photosynthesis and water productivity of cowpea during post-anthesis drought stress. *Agricultural Water Management*, 245:p.106565
38. Zalaghi, A., Marashi, S.K. and Mojaddam, M. 2020. Investigation Effect of Different Level of Vermicompost and Manure on Seed Yield and Its Components of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.). *Journal of Crop Nutrition Science*, 6(2):44-57.
39. Zhao, Y., Mao, X. and Shukla, M.K. 2020. A modified SWAP model for soil water and heat dynamics and seed–maize growth under film mulching. *Agricultural and Forest Meteorology*, 292, 108127
40. Zwart, S.J. and Bastiaanssen, W.G.M. 2004. Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize. *Agricultural Water Management*, 69(2):115-133.

Evaluation of DSSAT Model in Estimating Cowpea Water Productivity and Yield at Different Levels of Applied Water

F. Baradaran-Hazaveh, H. Babazadeh¹, E. Amiri, and H. Ebrahimi

Ph.D. Candidate, Irrigation and Drainage, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

hezaveh.hydro2005@gmail.com

Professor, Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

h_babazadeh@hotmail.com

Professor, Department of Water Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.

eamiri57@yahoo.com

Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qodss, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

ebrahimi165@yahoo.com

Received: September 2021, and Accepted: January 2022

Abstract

Pulses have a special position, after wheat and rice, in the Iranian people diet. The growth of these plants is very fast and water stress has an important effect on their yield. The objective of this study was to evaluate the DSSAT Model in simulating the growth and yield of cowpea under different levels of irrigation water. An experiment was conducted as a randomized complete block design (RCBD) with three replications in Kiashahr City, Iran, in the crop seasons of 2017 and 2018. The main treatments included irrigation with management of 40%, 60%, 80%, 100%, and 120% of plant water requirement and the three sub-treatments included irrigation at vegetative or reproductive stages, and full irrigation. In this experiment, the DSSAT simulation model was used to evaluate water efficiency and water balance components. Evaluation of simulated and measured values of grain yield was performed using the parameters of coefficient of determination, t-test, root mean square error (RMSE) and root mean square normalized error (nRMSE). The results showed that the difference between the predicted grain yield and the observed values was acceptable (RMSE=92 and nRMSE = 12.62%). Total biomass was also well simulated (RMSE=130 and nRMSE = 5.91%). Using the measured grain yield and water balance components simulated from the DSSAT model, the water productivity based on evapotranspiration (WPET) was about 33% lower than that based on transpiration (WPT). According to the results, irrigation with 100% water requirement at both vegetative and reproductive stages resulted in the highest transpiration (383mm), and was selected as the optimum irrigation management during the growing season.

Keywords: Crop modeling, Water management, Water stress

1- Corresponding author: Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.