

مقاله علمی-پژوهشی

مقایسه مدل‌های AquaCrop و ORYZA در شبیه‌سازی عملکرد، زیست توده و کارایی مصرف آب سه رقم برنج تحت مدیریت کشت مختلف

سید امیرحسین موسوی^۱، اصلان اگدرنژاد^{۲*}، عبدالعلی گیلانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۳۱

چکیده

برنج یکی از مهم‌ترین منابع غذایی در جهان است که تولید آن تحت عواملی مانند شیوه کاشت و رقم مورد استفاده متغیر است. برای ارزیابی این عوامل، لازم است تحقیقات متعددی انجام شود که نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار است. به همین دلیل می‌بایست برای شبیه‌سازی برنج از مدل‌های گیاهی که صحت‌سنجی شده‌اند، استفاده شود. برای دستیابی به این هدف، دو مدل رشد گیاهی AquaCrop و ORYZA به منظور شبیه‌سازی عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب برای گیاه برنج مورد ارزیابی قرار گرفتند. داده‌های مورد نیاز جهت انجام این پژوهش برگرفته از طرح تحقیقاتی اجرا شده در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در ایستگاه شاوور می‌باشد. در این پژوهش، دو عامل روش کاشت (D1: نشایی، D2: مستقیم رایج در منطقه و D3: خشکه‌کاری) و رقم برنج (V1: عنبوری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال) مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که روش نشایی بیشترین میزان مصرف آب را در بین سایر روش‌های کاشت داشت به طوری که میزان مصرف آب در این روش به ترتیب ۲۷ و ۳۸ درصد بیشتر از روش‌های مستقیم و خشکه‌کاری بود. در بین ارقام مورد استفاده، رقم چمپا بیشترین آب مصرفی را به خود اختصاص داد و به ترتیب ۳ و ۲۲ درصد افزایش آب مصرفی نسبت به رقم‌های عنبوری قرمز و دانیال داشت. دقت مدل AquaCrop برای تعیین عملکرد در دسته خوب (NRMSE=۰/۱۴) و دقت مدل ORYZA در دسته عالی (NRMSE=۰/۰۸) قرار داشت. دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده و کارایی مصرف آب به ترتیب در دسته‌های عالی (NRMSE=۰/۰۷) و خوب (NRMSE=۰/۱۱) و دقت مدل ORYZA برای تعیین این دو پارامتر به ترتیب در دسته‌های عالی (NRMSE=۰/۰۴) و عالی (NRMSE=۰/۰۳) قرار داشت. دقت مدل‌های AquaCrop و ORYZA در شرایط کاهش مصرف آب برای رقم دانیال به ترتیب به میزان ۳ و ۹ درصد کاهش یافت. براساس این نتایج، هر دو مدل گیاهی از دقت کافی برای شبیه‌سازی برنج برخوردار بودند؛ بنابراین استفاده از هر دو مدل گیاهی برای شبیه‌سازی برنج پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رقم دانیال، رقم عنبوری قرمز، روش خشکه‌کاری، مدل‌سازی گیاهی، نشاکاری

مقدمه

می‌دهد (FAO, 2017). این محصول از نظر سطح زیر کشت و میزان تولید در جهان در رتبه دوم گیاهان زراعی قرار دارد که بیش از نیمی از منابع آب کشاورزی در دنیا را به خود اختصاص می‌دهد (Cui et al., 2018). براساس تحقیقات انجام شده، تولید این محصول زراعی در سال‌های آتی می‌بایست حدود ۲۶ درصد افزایش یابد تا بتواند جوابگوی نیاز غذایی مردم جهان باشد (IRRI, 2008).

استان خوزستان به‌عنوان یکی از مناطق عمده کشت برنج در کشور است و مشکلات زیادی از جمله کمبود آب، کشت این محصول زراعی را در این استان تهدید می‌کند. پایین بودن عملکرد و کارایی مصرف آب برنج از جمله مشکلاتی است که می‌بایست برای خودکفایی و تأمین نیاز غذایی کشور راهکارهایی برای رفع آن پیدا کرد (رضایی و همکاران، ۱۴۰۰). به منظور افزایش میزان تولید این

برنج یکی از منابع غذایی مهم در سراسر جهان است به طوری که طبق تحقیقات انجام شده غذای نیمی از مردم جهان را تشکیل

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی علوم آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

۳- استادیار، بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران

*- نویسنده مسئول: ایمیل: (Email: a_eigder@ymail.com)

** مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.6.2.9

توسط مدل AquaCrop ارزیابی کرده و نشان دادند که این مدل در شوری‌های کمتر از آستانه تحمل شوری گیاه دقت بهتری داشت (امیری و همکاران، ۱۳۹۸). در تحقیقی دیگر، از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در کشت برنج تحت شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که مقدار آماره NRMSE برای عملکرد و زیست‌توده برنج به ترتیب ۹ و ۵ درصد بود. همچنین ضریب تبیین و کارایی مدل AquaCrop به ترتیب بیشتر از ۰/۷ و ۰/۶ بود (اعلایی‌بازکیایی و همکاران، ۱۳۹۸). پورغلام آمیجی و همکاران از مدل AquaCrop برای تخمین عملکرد برنج تحت کشت آبیاری تناوبی در شهرستان بابلسر استفاده کردند. این محققان گزارش کردند که مدل واسنجی شده AquaCrop به خوبی توانست عملکرد برنج را با دقت بالا ($R^2 > 0/86$ و $d > 0/81$) تعیین کند (پورغلام آمیجی و همکاران، ۱۳۹۹).

مدل ORYZA نیز یکی از مدل‌های گیاهی برای شبیه‌سازی برنج است که توسط مرکز تحقیقاتی واگنینگن هلند و در دهه ۹۰ میلادی توسعه داده شد. این مدل به صورت اختصاصی برای شبیه‌سازی رشد برنج تهیه شد و در ابتدا برای مدل‌سازی این گیاه زراعی در زمین‌های پست استوایی به کار گرفته شد (Kropff et al., 1994). اولین نسخه این مدل قابلیت‌های محدودی داشت ولی پس از مطالعات متعدد، نسخه‌های ORYZA N و ORYZA W برای شبیه‌سازی رشد برنج تحت محدودیت‌های نیتروژن و آب توسعه داده شد (Drenth et al., 1994; Wopereis et al., 1996). آخرین نسخه این مدل ORYZA v3 قادر به شبیه‌سازی برنج تحت شرایط مختلف مزرعه‌ای است (Bouman et al., 2001). به دلیل قابلیت‌های بالای این مدل، تاکنون محققان متعددی از آن برای شبیه‌سازی رشد برنج استفاده کرده‌اند (Bouman and Van Laar, 2006; Boling et al., 2007). در تحقیقی دیگر، کائو و همکاران از مدل ORYZA برای شبیه‌سازی سه رقم برنج استفاده نموده و نتیجه گرفتند که این مدل دقت لازم برای شبیه‌سازی برنج تحت شرایط مورد بررسی را داشت (Cao et al., 2017). لی و همکاران به معرفی نسخه جدیدتر این مدل گیاهی پرداختند و تفاوت آن را با نسخه قدیمی‌تر ORYZA در الگوریتم شبیه‌سازی تنش و مواردی مانند مدول‌های شبیه‌سازی کربن و نیتروژن بیان کردند (Li et al., 2017). یوان و همکاران نیز از مدل گیاهی ORYZA برای شبیه‌سازی گیاه برنج استفاده کردند. این محققان حداکثر اختلاف بین عملکرد شبیه‌سازی شده توسط این مدل گیاهی و عملکرد واقعی را ۷۲ کیلوگرم در هکتار گزارش نمودند (Yuan et al., 2017). امیری لاریجانی و همکاران از مدل ORYZA برای شبیه‌سازی مراحل نمو فیزیولوژیک و طول دوره رشد سه رقم برنج در سنین مختلف گیاهچه استفاده کرده و گزارش نمودند که مقادیر R^2 برای این مدل بین ۹۷-۸۰ و آماره‌ی NRMSE بین

گیاه زراعی، نیاز است ارقام مختلف تحت روش‌های کشت متفاوت بررسی شود. گرچه کشت برنج قبلاً به صورت نشایی بود، لیکن در سال‌های اخیر روش‌های مستقیم کشت به دلیل راندمان بهتر، مورد توجه کشاورزان و محققان قرار گرفته است (Sharma et al., 2003). به منظور افزایش عملکرد و کاهش آب مصرفی، ارقام مختلفی نیز برای کشت پیشنهاد شده است. با توجه به تازگی این روش‌ها، برای دستیابی به بهترین روش کاشت و رقم مناسب، لازم است تحقیقات مختلفی در دشت‌های مختلف انجام شود. بررسی بهترین رقم و مناسب‌ترین روش کشت، نیازمند انجام آزمایش‌های متعددی است که سبب صرف هزینه‌های بسیار می‌شود. همچنین انجام آن‌ها نیازمند در نظر گرفتن زمان طولانی برای دستیابی به نتایج است. جهت رفع این مشکلات، می‌توان از مدل‌های گیاهی برای شبیه‌سازی عملکرد برنج استفاده نمود (Geerts et al., 2009).

مدل AquaCrop یکی از مدل‌های گیاهی است که امروزه توسط سازمان خوار و بار کشاورزی برای شبیه‌سازی بسیاری از گیاهان زراعی بسط داده شده است (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). این مدل توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرار گرفته و دقت آن گزارش شده است. به عنوان مثال هسیانو و همکاران در تحقیقی روی گیاه ذرت نشان دادند که حداکثر اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده عملکرد دانه ذرت برابر با ۲۴ درصد بود (Hsiao et al., 2009). در تحقیقی دیگر که بر روی این گیاه تحت شرایط مختلف تأمین آب آبیاری انجام شد؛ دقت این مدل مطلوب گزارش گردید (Heng et al., 2009). از جمله تحقیقات دیگر می‌توان به مطالعات فراهانی و همکارانی و گارسیاویلا و همکاران روی گیاه پنبه و تودوروویچ و همکاران روی گیاه آفتابگردان اشاره کرد (Farahani et al., 2009; Garcia-villa et al., 2009; Todorovic et al., 2009). در تحقیقی که با استفاده از این مدل روی گیاه برنج انجام شد؛ خطای نسبی شبیه‌سازی عملکرد دانه بین ۰/۱ تا ۷/۸ گزارش گردید. در این تحقیق نتیجه گرفته شد که دقت این مدل برای شبیه‌سازی برنج قابل قبول بود (Saadati et al., 2011). در تحقیقی دیگر که در کشور بنگلادش انجام شد، از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده برنج تحت سناریوهای آبیاری پیوسته و دور آبیاری سه و پنج روز استفاده شد. نتایج نشان داد که خطای شبیه‌سازی در دو مرحله واسنجی و شبیه‌سازی به ترتیب ۷/۷-۵/۵ و ۱۱/۵-۸/۲ درصد و مطلوب بود (Maniruzzaman et al., 2015). در تحقیقی در کشور چین از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی برنج استفاده شد. نتایج نشان داد که پس از واسنجی مقدار آماره NRMSE حدود ۹/۹ درصد بود که در دسته عالی قرار داشت (Zhai et al., 2019). امیری و همکاران از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی مدیریت تنش شوری و خشکی برنج در موسسه تحقیقات برنج استفاده نمودند. این محققان داده‌های برداشت شده از کشت گلدانی برنج را

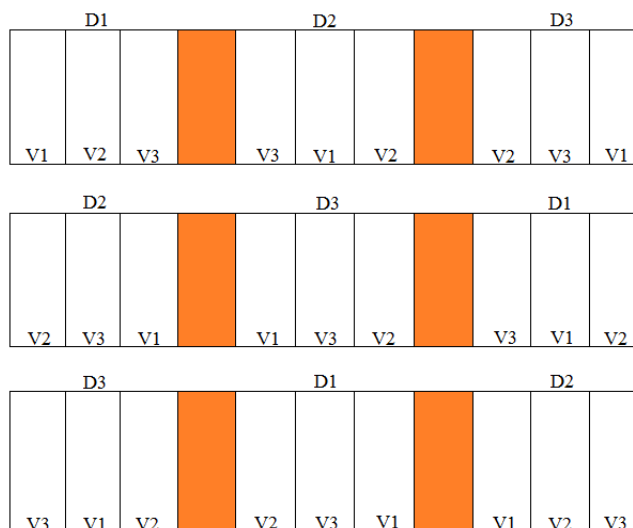
دو مدل گیاهی ORYZA و AquaCrop برای شبیه‌سازی اثر روش کاشت بر عملکرد ۳ رقم گیاه برنج مورد استفاده قرار گرفت. گرچه این دو مدل گیاهی، براساس سابقه تحقیق، توسط سایر محققان ارزیابی شده‌اند؛ ولی استفاده از آن‌ها برای شرایط ذکر شده تاکنون مورد توجه پژوهشگران نبوده است.

مواد و روش

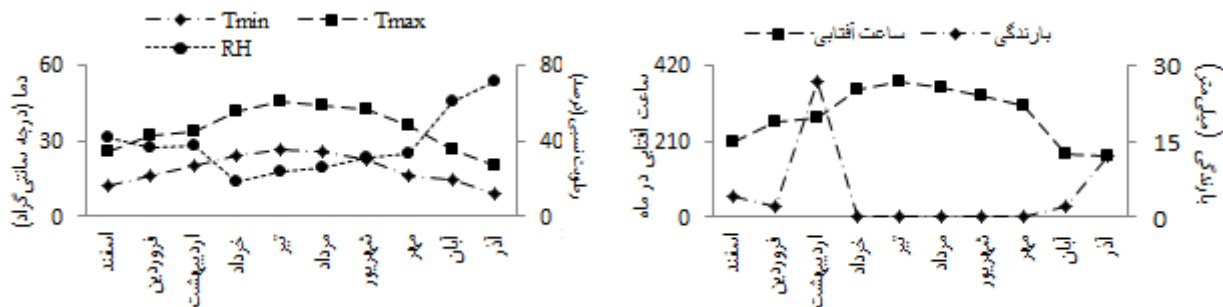
منطقه مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش برگرفته از طرح تحقیقاتی اجرا شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و به صورت کرت خرد شده تصادفی در ایستگاه شاوور وابسته به مرکز تحقیقات آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان واقع در طول جغرافیایی $31^{\circ} 49'$ و عرض جغرافیایی $48^{\circ} 25'$ در سال ۱۳۹۴ می‌باشد (گیلانی و آسسالان، ۱۳۹۴). عوامل مورد بررسی در این تحقیق شامل روش کاشت (D1: نشایی، D2: مستقیم رایج در منطقه و D3: خشکه‌کاری) و رقم برنج (V1: عنبوری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال) بود. برای انجام این آزمایش از کرت‌هایی با مساحت ۱۲ متر مربع، به صورت طرح شماتیک نشان داده در شکل (۱) استفاده شد. همزمان با این طرح، ۹ مزرعه دیگر به صورت تصادفی در اطراف ایستگاه تحقیقاتی انتخاب و براساس تیمارهای ذکر شده مورد کشت قرار گرفتند. مشخصات برخی پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه در شکل (۲) نشان داده شده است.

۴-۶ درصد متغیر بود. از این رو، این مدل را برای شبیه‌سازی نمو برنج پیشنهاد کردند (امیری لاریجانی و همکاران، ۱۳۹۰). مومن زاده و همکاران به ارزیابی مدل ORYZA برای پیش‌بینی تولید ارقام برنج تحت مدیریت آبیاری غرقاب و تنش خشکی در استان گیلان پرداختند. این محققان مقدار آماره‌ی NRMSE را برای عملکرد دانه در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب در محدوده‌ی ۱۶-۴ و ۱۷-۹ درصد و مقدار این آماره برای شبیه‌سازی زیست‌توده در مراحل اشاره شده را به ترتیب در محدوده‌ی ۱۸-۵ و ۱۹-۹ درصد گزارش کردند. همچنین مقدار آماره‌ی R^2 برای عملکرد دانه و زیست‌توده را به ترتیب در محدوده‌های ۰/۷۸-۰/۹۴ و ۰/۸۸-۰/۸۴ گزارش نمودند. این محققان دقت مدل ORYZA برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده برنج را قابل قبول دانستند (مومن زاده و همکاران، ۱۴۰۱). پایین بودن عملکرد و کارایی مصرف آب در کشت برنج در استان خوزستان به‌عنوان یکی از مشکلات اساسی مدیران و برنامه‌ریزان بخش آب و کشاورزی در این استان به‌شمار می‌رود. این مسأله سبب شده است تا ارزیابی عملکرد رقم‌های مختلف برنج تحت روش‌های نوین مانند خشکه‌کاری و کشت مستقیم برای مناطق مختلف استان خوزستان در دستور کار قرار گیرد. اما اطلاعات چندانی در خصوص عملکرد و کارایی مصرف این روش‌ها نسبت به یکدیگر موجود نمی‌باشد و تعیین نتایج آن در مناطق مختلف استان خوزستان نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار است. نظر به اینکه مدل‌های گیاهی می‌توانند به مدیران برای دستیابی به اطلاعات لازم در این خصوص کمک نموده و سرعت تصمیم‌گیری را افزایش دهند، در این پژوهش



شکل ۱- شماتیک طرح آزمایشی انجام شده



شکل ۲- مشخصات هواشناسی در منطقه مورد مطالعه

به صورت تصادفی انجام و برای تعیین خصوصیات خاک به آزمایشگاه انتقال داده شد (جدول ۱). جهت تأمین آب آبیاری، ابتدا ضریب گیاهی برنج در دوره‌های ابتدایی (۱/۰۲)، توسعه گیاه (۱/۱۴)، گلدهی (۱/۲۳) و نهایی (۱/۱۵) تعیین و سپس آب آبیاری برای هر روش کاشت تعیین و توسط کنتور با دقت بالا تأمین گردید. برای ارزیابی کنتور، از یک مخزن با حجم معین استفاده شد. بدین صورت که آب توسط لوله از کنتور عبور داده و حجم مخزن را پر می‌کرد. این کار سه بار تکرار و دقت کنتور تأیید شد. برای جلوگیری از هدر رفت آب و خطای تیمار آبیاری تمام پشته‌ها تا عمق ۶۰ سانتی‌متر خاک توسط پلاستیک پوشانده شد. مشخصات آب آبیاری در جدول (۲) آورده شده است. عملکرد دانه در دو روش مستقیم رایج در منطقه و خشکه‌کاری پس از حذف حاشیه و کادرنده‌ای در سطحی معادل ۱/۵ مترمربع و در روش نشایی با برداشت ۳۷ کپه در ارقام محلی و ۲۴ کپه در رقم دانیال اندازه‌گیری شد. سپس عملکرد دانه برای همه تیمار در رطوبت ۱۴ درصد دانه‌ها تعیین شد. زیست‌توده با کف‌بر نمودن بوته‌ها و خشک کردن آن‌ها در دو کادر ۵۰×۲۰ سانتی‌متر برای روش‌های مستقیم رایج در منطقه و خشکه‌کاری و ۱۲ کپه در روش نشایی اندازه‌گیری شد. تعیین زیست‌توده با خشک کردن نمونه‌های برداشت شده در آن با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت انجام شد. کارایی مصرف آب نیز توسط رابطه‌ی زیر برای هر تیمار به دست آمد:

$$WUE = \frac{Y}{W} \quad (1)$$

که در این رابطه، WUE کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم) و W مقدار آب آبیاری (مترمکعب) است.

در دو روش کاشت مستقیم رایج در منطقه و خشکه‌کاری ابتدا عملیات بسترسازی انجام شد. در خشکه‌کاری رقم مورد استفاده در یک بستر خشک به صورت دستپاش کشت شد. سپس با چنگک در عمق ۳-۴ سانتی‌متری خاک قرار گرفت و بلافاصله پس از آن آبیاری در حد اشباع خاک انجام شد. این روند با تناوب سه روز در میان تا پایان مرحله گیاهچه‌ای (۵-۴ برگ) ادامه یافت. در شیوه مستقیم رایج در منطقه بذور جوانه‌دار در یک بستر گل‌خرابی با عمق ۳-۴ سانتی‌متری بذرپاشی شدند. در روش نشایی، ابتدا خزانه ایجاد شد. سپس نشاها در سن ۲۵-۳۰ روزه به زمین اصلی منتقل و در یک شرایط گل‌خرابی به تعداد ۴-۵ بوته در کپه به فواصل ۲۰×۲۰ سانتی‌متر کاشته شدند. میزان آب آبیاری برای هر سه روش مورد استفاده با استفاده از فلوم WSC (type:2) اندازه‌گیری شد. ارتفاع آب در کرت‌ها از زمان بذرپاشی تا ظهور اولین برگ گیاهچه در خزانه و روش کشت مستقیم در منطقه ۳-۴ سانتی‌متر بود. در دوره بازیافت نشاها در زمین اصلی ارتفاع آب به میزان ۷-۸ سانتی‌متر حفظ و در ادامه، برای هر سه روش کاشت، آبیاری به تناوب دو روز و ارتفاع ۴-۳ سانتی‌متر انجام شد. از نظر تغذیه‌ای، عنصر نیتروژن از منبع کود اوره و به مقادیر ۹۰ و ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار به ترتیب برای ارقام محلی و دانیال مصرف شد. عناصر فسفر، پتاسیم و روی نیز براساس آنالیز خاک مورد استفاده قرار گرفتند. کنترل علف‌های هرز به صورت تلفیقی شامل وجین دستی و سمپاشی با 2-4-D به مقدار ۱/۵ لیتر در هکتار جهت کنترل اویارسلام انجام شد. داده‌های برداشت شده از این مزارع برای واسنجی و داده‌های برداشت شده از مرکز تحقیقات برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار گرفتند. پیش از انجام آزمایش، زمین مورد نظر برای کاشت آماده شد. نمونه‌برداری خاک از زمین مورد نظر

جدول ۱- تجزیه فیزیکی نمونه خاک محل اجرای آزمایش

عمق خاک (cm)	رطوبت در FC (cm ³ /cm ³)	رطوبت در PWP (cm ³ /cm ³)	جرم مخصوص ظاهری (gr/cm ³)	بافت خاک
۰-۳۰	۲۸/۳	۱۳/۱	۱/۵۹	لوم
۳۰-۶۰	۲۸/۳	۱۴/۶	۱/۶۲	لوم

جدول ۲- تجزیه شیمیایی آب آبیاری محل آزمایش

هدایت الکتریکی (dS/m)	pH	بافت خاک	کربنات	بیکربنات	کلر	کلسیم	منیزیم	سدیم
Meq/lit								
۱/۲	۷/۷	سیلتی رسی	۰	۳/۹	۲/۶	۴	۴/۵	۴/۸

تئوری مدل AquaCrop

مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد برنج، از تبخیر-تعرق (ET) محاسبه شده (رابطه ۲) با فرض تفکیک آن استفاده می‌کند (Raes et al., 2009). تفکیک این مولفه به دو جز تبخیر (E) و تعرق (Tr) سبب می‌شود تا مصرف غیر تولیدی آب از معادلات حذف شود (رابطه ۳).

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (2)$$

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \quad (3)$$

در این روابط، Y_a و Y_x به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، ET_a و ET_x به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه، و K_y ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق، که در آن، K_c و K_s به ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی و CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد) که توسط رابطه (۴) محاسبه می‌شود (Raes et al., 2009).

$$CC = CC_0 \times e^{CGC \cdot t} \quad (4)$$

در این رابطه، CC_0 پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می‌باشد. با تعیین تعرق و تبخیر-تعرق، بیوماس خشک نیز طبق رابطه (۵) برآورد می‌گردد (Raes et al., 2009):

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right] \quad (5)$$

در این رابطه، Tr مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی، WP بهره‌وری آب، ET_0 تبخیر-تعرق گیاه مرجع و B عملکرد بیوماس خشک است. مقدار عملکرد (Y) نیز با استفاده از ماده‌ی خشک تولید شده و شاخص برداشت (HI) طبق رابطه (۶) محاسبه می‌شود (Raes et al., 2009):

$$Y = B \times HI \quad (6)$$

در این رابطه، Y عملکرد، HI شاخص برداشت و B بیوماس خشک است. داده‌های مورد استفاده در این مدل در چهار گروه داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه دسته‌بندی می‌شوند. هر گروه از داده‌های براساس آزمایش‌های مزرعه‌ای و یا داده‌های موجود به مدل معرفی شدند.

تئوری مدل ORYZA

در مدل ORYZA سرعت رشد ناخالص روزانه (G_p) مطابق

رابطه (۷) محاسبه می‌شود (Bouman et al., 2001).

$$G_p = (Ad \times (30 / 44) - Rm + Rt) / Q \quad (7)$$

که در این معادله A_d میزان ناخالص جذب روزانه CO_2 ، R_m تنفس نگهداری، R_t میزان ذخایر ساقه که دوباره اختصاص می‌یابد و Q مقدار جذب مورد نیاز برای تولید ماده خشک است. به منظور تخمین مقدار سرعت جذب ناخالص CO_2 برگ‌های سایه‌دار، از رابطه زیر استفاده می‌شود (Bouman et al., 2001).

$$A_d = Am(1 - \exp(-\varepsilon I_a / Am)) \quad (8)$$

که در این رابطه، I_a : تشعشع مستقیم جذب شده، ε : راندمان مصرف نور اولیه و A_m حداکثر سرعت جذب CO_2 است. برای محاسبه A_m از رابطه زیر استفاده می‌شود (Bouman et al., 2001).

$$Am = (49.57 / 34.26) \times (1 - \exp(-0.208(CO_2 - 60) / 49.57)) \quad (9)$$

تأثیر دما روی تنفس نگهداری توسط عاملی با عنوان T_{eff} به صورت معادله (۱۰) شبیه‌سازی می‌شود (Bouman et al., 2001).

$$Rm = Rm_r \times T_{eff} \quad (10)$$

$$T_{eff} = 2(T_{av} - Tr) / 10 \quad (11)$$

که در این رابطه، R_m میزان واقعی سرعت تنفس نگهداری، T_{av} میانگین دمای روزانه و Tr دمای مرجع می‌باشد.

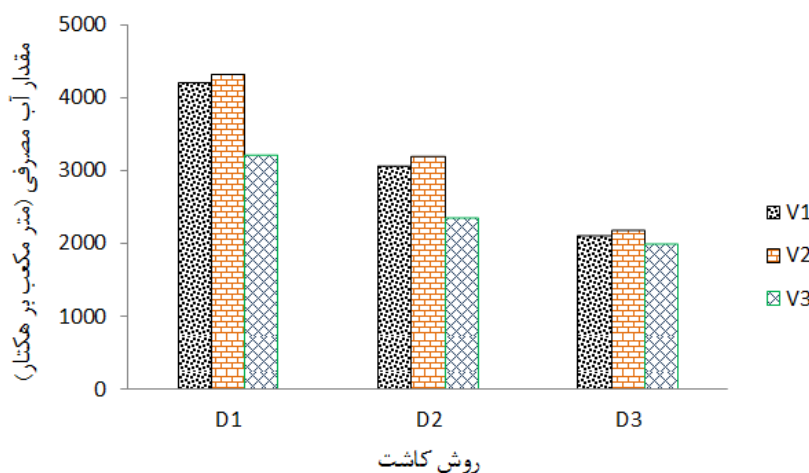
آنالیز آماری

پیش از انجام واسنجی و صحت‌سنجی دو مدل گیاهی AquaCrop و ORYZA، ابتدا این دو مدل با استفاده از رابطه (۱۲) مورد تحلیل حساسیت قرار گرفتند (Geerts et al., 2009):

$$Sc = \left| \frac{P_m - P_b}{P_b} \right| \times 100 \quad (12)$$

در این رابطه، Sc ضریب حساسیت بدون بعد، P_m مقدار برآورد شده عامل مورد نظر براساس داده‌های ورودی تعدیل شده و P_b مقدار برآورد عامل مورد نظر براساس داده ورودی پایه می‌باشد. به منظور تحلیل حساسیت هر عامل ورودی، مقدار آن عامل به میزان ۲۵ درصد افزایش و کاهش می‌یافت. سپس شبیه‌سازی براساس میزان تغییرات انجام شده انجام می‌شد. براساس نتایجی که از رابطه (۱۲) به دست می‌آمد، ضریب حساسیت در سه کلاس، $Sc > 15$ حساسیت بالا،

مقدار آب آبیاری برای روش‌های کشت در بازه ۱۹۷۲-۴۳۰۸ متر مکعب در هکتار متغیر بود. در روش کشت نشایی بیشترین مقدار آب آبیاری و در روش خشکه‌کاری کم‌ترین میزان آب مصرفی برآورد شد. پیرمادیان و دواتگر نیز در تحقیقی در شمال کشور، میزان نیاز آب آبیاری برای گیاه برنج را در بازه ۶۷۵۰ تا ۸۷۶۰ متر مکعب در هکتار گزارش نمودند. (Pirmoradian and Davatgar, 2019). در بین روش‌های کاشت، روش نشایی بیشترین مقدار مصرف آب را داشت به طوری که میزان آب مصرفی در این روش به ترتیب ۲۷ و ۳۸ درصد بیشتر از روش‌های مستقیم و خشکه‌کاری بود. در بین ارقام مورد استفاده نیز، رقم چمپا بیشترین آب مصرفی را به خود اختصاص داد و به ترتیب ۳ و ۲۲ درصد افزایش آب مصرفی نسبت به رقم‌های عنبروری قرمز و دانیال داشت.



شکل ۳- مقایسه مقدار آب مصرفی برای روش‌های مختلف کاشت و رقم‌های مختلف (V1: عنبروری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال؛ D1: روش نشایی، D2: روش مستقیم و D3: روش خشکه‌کاری)

سپس زیست‌توده و در ادامه کارایی مصرف آب برای هر تغییر در پارامترهای واسنجی بررسی می‌شد تا نتایج شبیه‌سازی به نتایج واقعی نزدیک باشد. واسنجی مدل ORYZA با استفاده از روش ارائه شده توسط بومن و لار (Bouman and Laar, 2006) انجام شد. فایل داده‌های هواشناسی، گیاهی و مقادیر برداشت شده از مزرعه در این مدل وارد و پارامترهای سرعت نمو گیاه، ضرایب تسهیم مواد فتوسنتزی، سطح ویژه برگ، سرعت مرگ و میر برگ و کسر ذخایر ساقه واسنجی شدند. سرعت‌های نمو با استفاده از تاریخ‌های ثبت شده در مدل و براساس برنامه DRATES و ضرایب تسهیم مواد فتوسنتزی، سرعت مرگ و میر برگ و کسر ذخایر ساقه براساس برنامه PARAM تعیین شدند. برای هر دو مدل AquaCrop و ORYZA، در مرحله واسنجی، آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا

$Sc < 15$ حساسیت متوسط، $Sc < 2$ حساسیت پایین طبقه‌بندی گردید (Geerts et al., 2009). سپس با استفاده از دو مدل AquaCrop و ORYZA عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب برنج برای هر تیمار شبیه‌سازی شد. تعیین ارقام در مدل‌های مورد استفاده براساس تعیین پارامترهای هر رقم انجام شد. روش کاشت ابتدا براساس تعیین نحوه کاشت در مدل‌های مورد بررسی، تعیین شد. روش نشایی در قالب Transplanting و دو روش دیگر به صورت روش فاقد نشا و در قالب SOWING به مدل‌ها معرفی شد. در ادامه تفاوت دو عامل آب آبیاری و تراکم کاشت برای تمایز ارقام مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به شرایط کشت مختلف در این تحقیق، میزان آب مصرفی برای هر کدام از روش‌های کاشت در شکل (۳) آورده شده است. براساس این نتایج، اختلاف بین مقادیر آب آبیاری برای هر کدام از این روش‌ها بلافاصله پس از رشد ابتدایی شروع شد.

سایر داده‌های مورد استفاده در هر دو مدل، داده‌های اقلیمی برای تعیین تبخیر-تعرق، مدیریت مزرعه، مشخصات خاک و آب آبیاری بود. پارامترهای گیاهی نیز براساس واسنجی در هر دو مدل تعیین شد. به منظور واسنجی دو مدل گیاهی مورد استفاده، از داده‌های برداشت شده از مزارع مجاور طرح استفاده شد. در مدل AquaCrop، واسنجی با استفاده از نظر بسط دهندگان مدل (Raes et al., 2009) انجام شد. در این مدل، ابتدا مقادیر به دست آمده در مدل قرار داده شد. سپس پارامترهای مربوط به رشد (پوشش گیاهی اولیه، ضریب رشد پوشش گیاهی، حداکثر پوشش گیاهی و ضریب کاهش پوشش)، تنش آبی (حد بالا و پایین مربوط به توسعه پوشش گیاهی و بسته شدن روزنه‌ها) و پارامترهای مربوط به نوع گیاه (بهره‌وری آب نرمال شده، حداکثر عمق ریشه و شاخص برداشت) تعیین شدند. ابتدا عملکرد،

$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})\right)^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (18)$$

در این روابط، P_i مقدار شبیه‌سازی شده، O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان دهنده‌ی دقت عالی مدل است. هم چنین مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۱-۰/۲، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف است. مقدار مثبت آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل‌های رشد گیاهی مقدار عامل مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد عامل مورد نظر عدد کوچکتری به دست داده است. مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد. به منظور شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب برنج در مرحله صحت‌سنجی، از داده‌های برداشت شده از طرح حاضر استفاده شد. در این مرحله نیز آماره‌های (۱۳) تا (۱۸) برای تعیین دقت، میزان خطا و کارایی هر دو مدل گیاهی مورد استفاده قرار گرفت.

(RMSE)، جذر میانگین مربعات نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارایی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین (R^2) برای تعیین مقادیر پارامترهای هر دو مدل گیاهی مورد استفاده قرار گرفت. در این مرحله، شبیه‌سازی به صورت مکرر انجام شد تا آماره‌های اشاره شده به بهترین مقدار خود برسند. این آماره‌ها به ترتیب در روابط (۱۳) تا (۱۸) نشان داده شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (13)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}}{O_i} \quad (14)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (15)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (16)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i| + |O_i|)^2} \quad (17)$$

جدول ۳- نتایج تحلیل حساسیت مدل‌های ORYZA و AquaCrop

میزان حساسیت	Sc (+25%)	Sc (-25%)	پارامتر
AquaCrop			
متوسط	۹/۱	۲/۶	رطوبت در ظرفیت زراعی
متوسط	۶/۵	۶	رطوبت در نقطه پژمردگی
متوسط	۴/۴	۲/۴	رطوبت اشباع
متوسط	۶/۱	۳/۷	دمای حداقل
متوسط	۷/۲	۷/۴	دمای حداکثر
متوسط	۱۰/۹	۳	ضریب رشد پوشش گیاهی
متوسط	۱۲	۵	بهره‌وری آب نرمال شده
متوسط	۳/۹	۵/۱	شاخص برداشت
متوسط	۸/۵	۷/۴	حد بالای مربوط به توسعه پوشش گیاهی
متوسط	۱۰/۱	۶/۹	حد پایین مربوط به توسعه پوشش گیاهی
متوسط	۵/۹	۱۰/۸	حد بالای مربوط به بسته شدن روزنه‌ها
ORYZA			
متوسط	۲/۹	۱/۴	سرعت توسعه فنولوژیکی
متوسط	۴/۷	۵/۲	سرعت توسعه فنولوژیکی در فاز شکل‌گیری خوشه
متوسط	۴/۷	۴/۶	سرعت توسعه فنولوژیکی در فاز رویشی پایه
متوسط	۴/۸	۲/۰	حداکثر سرعت رشد نسبی سطح برگ

جدول ۴- برخی پارامترهای ورودی در مدل‌های AquaCrop و ORYZA

توضیحات	واحد	مقدار پارامترهای مورد بررسی در ارقام مختلف			پارامتر
		دانیال	چمپا	عنبروری قرمز	
مدل AquaCrop					
پوشش گیاهی اولیه	%	۱/۲۵	۱/۲۵	۱/۲۵	
ضریب رشد پوشش گیاهی	% .day ⁻¹	۱۹/۸	۱۹/۸	۱۹/۸	
حداکثر پوشش گیاهی	%	۷۵	۷۵	۷۵	
ضریب کاهش پوشش	% .day ⁻¹	۸	۸	۸	
بهره‌وری نرمال شده	g.m ⁻²	۱۵	۱۹	۱۹	
شاخص برداشت	%	۰/۴	۰/۳	۰/۳	
حداکثر عمق ریشه	M	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	
حد بالای مربوط به توسعه پوشش گیاهی	-	۰/۱۸	۰/۱۵	۰/۱۰	
حد پایین مربوط به توسعه پوشش گیاهی	-	۰/۵	۰/۴	۰/۳	
حد بالای مربوط به بسته شدن روزنه‌ها	-	۰/۴	۰/۵	۰/۵	
ضریب شکل منحنی مربوط به بسته شدن روزنه‌ها	-	۴	۴	۴	
مدل ORYZA					
سرعت توسعه فنولوژیکی	1/°C.day	۰/۰۰۷۰۰	۰/۰۰۱۱۲۰	۰/۰۰۱۲۷۲۲	
سرعت توسعه فنولوژیکی در فاز حساسیت به نور	1/°C.day	۰/۰۰۰۷۵۸	۰/۰۰۰۷۵۸	۰/۰۰۰۷۵۸	
سرعت توسعه فنولوژیکی در فاز رویشی پایه	1/°C.day	۰/۰۰۰۷۹۵	۰/۰۰۰۷۹۵	۰/۰۰۰۷۹۵	
سرعت توسعه فنولوژیکی در فاز شکل‌گیری خوشه	1/°C.day	۰/۰۰۲۴۰۰	۰/۰۰۲۳۷۰	۰/۰۰۲۳۲۰	
سرعت توسعه فنولوژیکی در فاز پر شدن دانه	1/°C.day	۰/۰۰۲۳۰۵	۰/۰۰۲۲۹۳	۰/۰۰۲۲۸۰	
فاکتور تفکیک زیست‌توده به برگ	-	۰/۶۰	۰/۵۵	۰/۵۵	
فاکتور تفکیک زیست‌توده به ساقه	-	۰/۵۰	۰/۴۰	۰/۴۰	
فاکتور تفکیک زیست‌توده به خوشه	-	۰/۹۰	۰/۸۰	۰/۸۰	
سطح ویژه برگ در طول دوره رویش	-	۰/۰۳۰	۰/۰۲۸	۰/۰۲۵	
حداکثر سرعت رشد نسبی سطح برگ	1/°C.day	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۸۰	
سرعت مرگ و میر برگ در طول دوره رویش	-	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	

نتایج و بحث

تحلیل حساسیت و واسنجی مدل

نتایج تحلیل حساسیت مدل‌های AquaCrop و ORYZA در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، هر دو مدل نسبت به تغییرات اکثر پارامترهای ورودی حساسیت متوسطی داشتند. در جدول (۴) نتایج واسنجی این مدل‌ها نشان داده شده است. در این جدول برخی پارامترهای ثابت که برای هر سه رقم نیز یکسان هستند آورده شده است. این پارامترها مقادیر پیش‌فرض هر دو مدل بوده و تغییری در آن‌ها انجام نشد. با توجه به تعداد داده‌های زیاد دو مدل مورد استفاده، تنها بخشی از آن‌ها در جداول تحلیل حساسیت و واسنجی ذکر شدند.

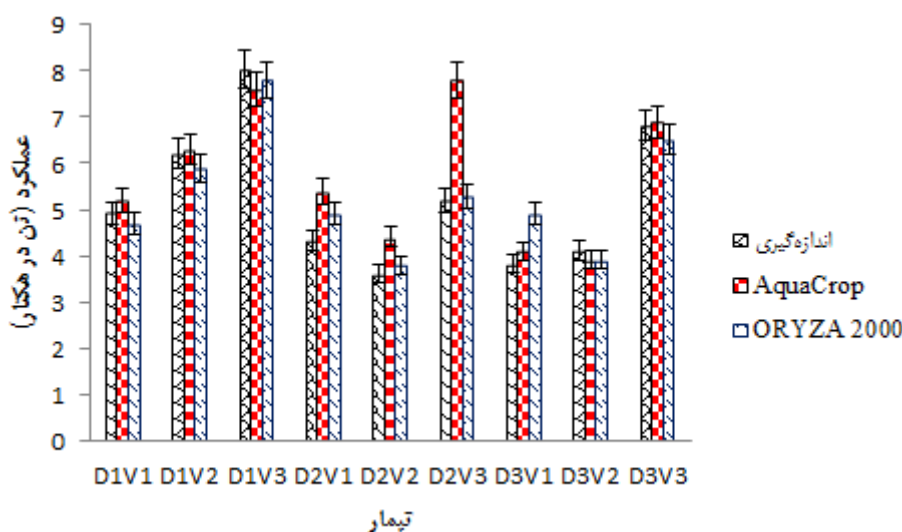
نتایج عملکرد

عملکرد دانه برنج در روش‌های کاشت نشایی، مستقیم و خشکه‌کاری به ترتیب برابر با ۶/۳، ۴/۶ و ۴/۹ تن بر هکتار بود. این

مقادیر برای رقم‌های عنبروری قرمز، چمپا و دانیال به ترتیب برابر با ۴/۳، ۴/۶ و ۶/۹ تن در هکتار به دست آمد. با مقایسه این نتایج با شکل (۳)، مشاهده شد که کاهش آب آبیاری در روش خشکه‌کاری اثر زیادی بر کاهش عملکرد آن داشت. این نتایج با مشاهدات ابراهیمی‌راد و همکاران مطابقت داشت. این محققان با بررسی مقدار آبیاری بر عملکرد برنج نشان دادند که تغییرات این عامل سبب تغییر معنی‌دار عملکرد برنج شد (ابراهیمی‌راد و همکاران، ۱۳۹۷). اعلاایی بازکیایی و همکاران نیز نشان دادند که افزایش میزان آب آبیاری بیشترین عملکرد و زیست‌توده را نسبت به تیمارهای با مقدار آب آبیاری کمتر داشت (Aalaee Bazkiaee et al., 2020). نتایج مدل AquaCrop نشان داد که بیشترین و کمترین اختلاف بین عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به ترتیب برابر با ۲/۶ و ۰/۰۷ تن بر هکتار بود (شکل ۴). این مقادیر به ترتیب در تیمارهای D2V3 و DIV2 به دست آمد. این مقدار برای تیمار DIV2 برابر با ۰/۰۷۷ تن در هکتار تعیین شد. متوسط اختلاف بین عملکرد مشاهداتی و

(al., 2017). با توجه به حساسیت برنج نسبت به آب مصرفی، عملکرد آن در شرایط کاهش مصرف آب به شدت تغییر می‌کند. در تحقیق حاضر، با تغییر روش کشت از نشایی به خشکه‌کاری و مستقیم عملکرد دانه به ترتیب ۲۴ و ۲۳ درصد کاهش یافت. چون کاهش آب به صورت رابطه مستقیم با عملکرد عمل نمی‌کند، هر دو مدل AquaCrop و ORYZA در شبیه‌سازی عملکرد برنج در شرایط کاهش مصرف آب دچار خطای بیشتری نسبت به شرایط نشایی شدند. مقایسه‌ی عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در مدل AquaCrop نشان داد که این مدل در اکثر تیمارها عملکرد را نسبت به شرایط واقعی در مزرعه بیشتر شبیه‌سازی نمود، در شرایطی که مدل ORYZA در اکثر تیمارها عملکرد برنج را کمتر از مقدار واقعی به دست آورد. چون تابع اصلی تعیین عملکرد در مدل AquaCrop براساس تعیین دقیق آب مصرفی است (رابطه ۲)، تغییرات آب آبیاری در روش کشت مستقیم اثر زیادی روی ایجاد خطا در این مدل داشت. در واقع براساس میزان آب مصرفی، این مدل گیاهی عملکرد بیشتری برای برنج شبیه‌سازی نمود که علت آن وابستگی شدید عملکرد به آب مصرفی در این مدل است. مقایسه متوسط خطای این مدل در این روش ۴۸ درصد بود در حالی که خطای مدل ORYZA برای کشت مستقیم ۲۸ درصد به دست آمد.

شبیه‌سازی شده نیز برابر با ۰/۶۴ تن بر هکتار بود. مقایسه نتایج به دست آمده بین تیمارهای مختلف نشان داد که مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی تیمارهایی که آب کمتری برای آن‌ها در نظر گرفته شده بود خطای بیشتری داشت. این نتایج با مشاهدات ابراهیمی پاک و همکاران (۱۳۹۷) و اکدرنژاد و همکاران (۱۳۹۷) مشابهت داشت. این محققان نیز کاهش دقت مدل AquaCrop در شرایط کاهش مقدار آب آبیاری را گزارش نمودند. براساس نتایج شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج با استفاده از مدل ORYZA، بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی عملکرد به ترتیب در تیمارهای D2V3 و D3V1 مشاهده شد. مقادیر این اختلاف نیز به ترتیب برابر با ۱/۰۸ و ۰/۱ تن در هکتار بود. متوسط اختلاف عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نیز برابر با ۰/۳۶ تن در هکتار بود. کمترین میزان خطای شبیه‌سازی عملکرد در رقم چمپا مشاهده شد. در این رقم میزان آب مصرفی بیشتر از دو رقم دیگر بود. همچنین وجود خطای بالا برای روش خشکه‌کاری نیز مؤید اثر مقدار آب آبیاری بر دقت مدل ORYZA بود. اختلاف خطا بین دو تیمار D2V3 و D3V1 برابر با ۹ درصد بود. این نتایج با مشاهدات لی و همکاران مشابهت داشت. این محققان گزارش کردند که خطای مدل ORYZA با افزایش شرایط تنش خشکی افزایش یافته و میزان افزایش خطا از شرایط نرمال به شرایط خشکی برابر ۴ درصد برآورد گردید (Li et



شکل ۴- مقایسه عملکرد (تن بر هکتار) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل‌های AquaCrop و ORYZA (V1: عنبروری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال؛ D1: روش نشایی، D2: روش مستقیم و D3: روش خشکه‌کاری)

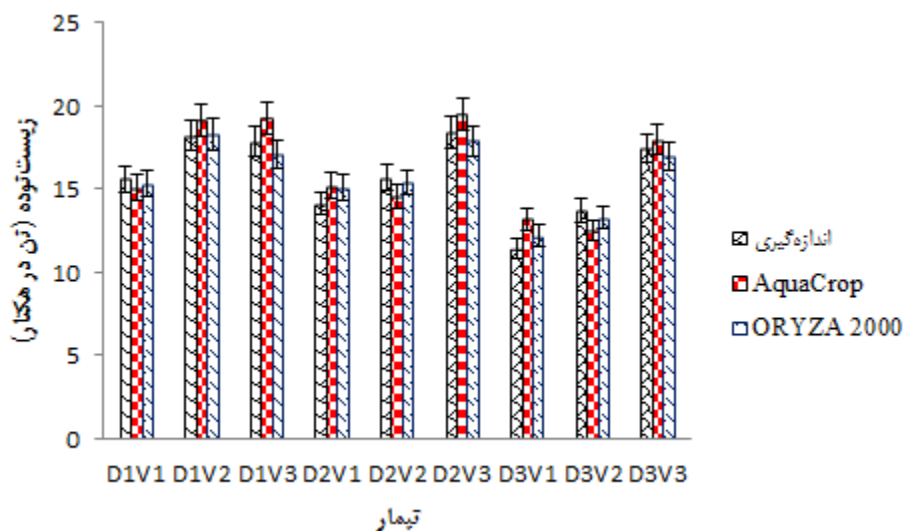
در هکتار بود (شکل ۵). نتایج شبیه‌سازی زیست‌توده برنج با استفاده از دو مدل AquaCrop و ORYZA در شکل (۵) نشان داده شده است. براساس این نتایج بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل AquaCrop و مشاهداتی به ترتیب برابر با ۱/۸ و ۰/۵۲

نتایج زیست‌توده

زیست‌توده مشاهداتی برای کاشت نشایی، مستقیم و خشکه‌کاری به ترتیب برابر با ۱۷/۲، ۱۶/۰ و ۱۴/۱ تن در هکتار و برای رقم‌های عنبروری قرمز، چمپا و دانیال به ترتیب برابر با ۱۳/۷، ۱۵/۸ و ۱۷/۸ تن

متوسط این اختلاف نیز برابر با ۰/۵۰ تن در هکتار به دست آمد. مقایسه این نتایج با مدل AquaCrop نشان داد که دقت مدل ORYZA برای تعیین عملکرد و زیست‌توده بهتر بود. علت آن احتمالاً وابستگی شدید مدل AquaCrop به میزان آب مصرفی برای تعیین عملکرد و زیست‌توده است (رابطه ۲). همچنین با توجه به حساسیت متوسط مدل AquaCrop به شاخص برداشت (جدول ۳)، تغییرات اندک در مقدار آن سبب ایجاد خطا در تعیین عملکرد نیز می‌شود. از این رو، دقت مدل ORYZA برای تعیین عملکرد و زیست‌توده بهتر بود.

تن در هکتار بود. این مقادیر به ترتیب در D1V1 و D3V1 مشاهده شد. مقادیر مذکور در تیمارهای D1V2 و D3V3 به ترتیب برابر با ۰/۵۶ و ۰/۸۷ تن در هکتار بود. برای سایر تیمارها این مقدار بیشتر از یک تن بود که مقدار نسبتاً بالایی می‌باشد. متوسط اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به ترتیب برابر با ۱/۰۷ تن بر هکتار بود. این نتایج نشان داد که اثر مقدار آب آبیاری بر دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی زیست‌توده نیز موثر بود. بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده زیست‌توده توسط مدل ORYZA به ترتیب برابر با ۰/۹۸ و ۰/۰۷ تن در هکتار بود. این مقادیر به ترتیب در تیمارهای D2V1 و D1V2 مشاهده شد.



شکل ۵- مقایسه زیست‌توده (تن بر هکتار) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل‌های AquaCrop و ORYZA (V1: عنبروری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال؛ D1: روش نشایی، D2: روش مستقیم و D3: روش خشکه‌کاری)

شبیه‌سازی شده در این تیمار بود. به دلیل خطای مدل AquaCrop در تعیین عملکرد دانه براساس مقدار آب مصرفی، خطای مدل مذکور برای شبیه‌سازی کارایی مصرف آب نیز افزایش یافت. بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده کارایی مصرف آب با مدل ORYZA به ترتیب برابر با ۰/۰۳، ۰/۰۰۴ کیلوگرم بر متر مکعب و متوسط آن نیز برابر با ۰/۰۱ کیلوگرم بر متر مکعب بود.

مقایسه آماری نتایج

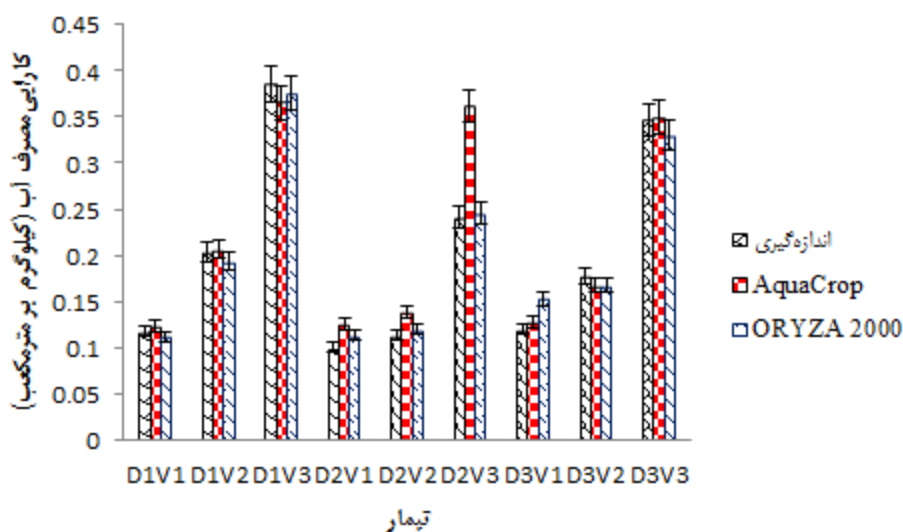
مقایسه مقادیر عملکرد و زیست‌توده مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داد که این مدل روند تغییرات زیست‌توده را بهتر از عملکرد دانه شبیه‌سازی نموده است. علت آن حساسیت این مدل گیاهی به شاخص برداشت و خطای آن در شبیه‌سازی زیست‌توده برنج است. از این رو، براساس رابطه‌ی (۶)، خطای مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد همواره

نتایج کارایی مصرف آب

مقدار شبیه‌سازی شده کارایی مصرف آب با استفاده از مدل AquaCrop در شکل (۶) نشان داده شده است. براساس این نتایج، بیشترین و کمترین اختلاف این پارامتر برای مدل AquaCrop به ترتیب برابر با ۰/۱۲ و ۰/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود. این مقادیر به ترتیب به تیمارهای D1V2 و D2V3 اختصاص داشت. متوسط اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نیز برابر با ۰/۰۲ کیلوگرم بر متر مکعب بود. همانطور که در شکل (۶) مشاهده می‌شود؛ گرچه در تیمار D2V3 اختلاف مقادیر زیادی بین نتایج AquaCrop و داده‌های اندازه‌گیری شده مشاهده شد لیکن میزان کارایی مصرف آب در این تیمار نیز بالا بود. اگر اختلاف نتایج مشاهداتی و شبیه‌سازی شده براساس درصد بیان شود؛ بیشترین و کمترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به ترتیب برابر با ۵۰ و ۱ درصد خواهد بود. علت آن اختلاف شدید عملکرد مشاهداتی و

شبیه‌سازی شده عملکرد برابر با ۰/۶۶ به دست آمد که قابل قبول است.

بیشتر از زیست‌توده است. این نتیجه با توجه به شکل (۷) نیز قابل توجیه است. در این شکل، مقدار ضریب تبیین بین مقادیر مشاهداتی و

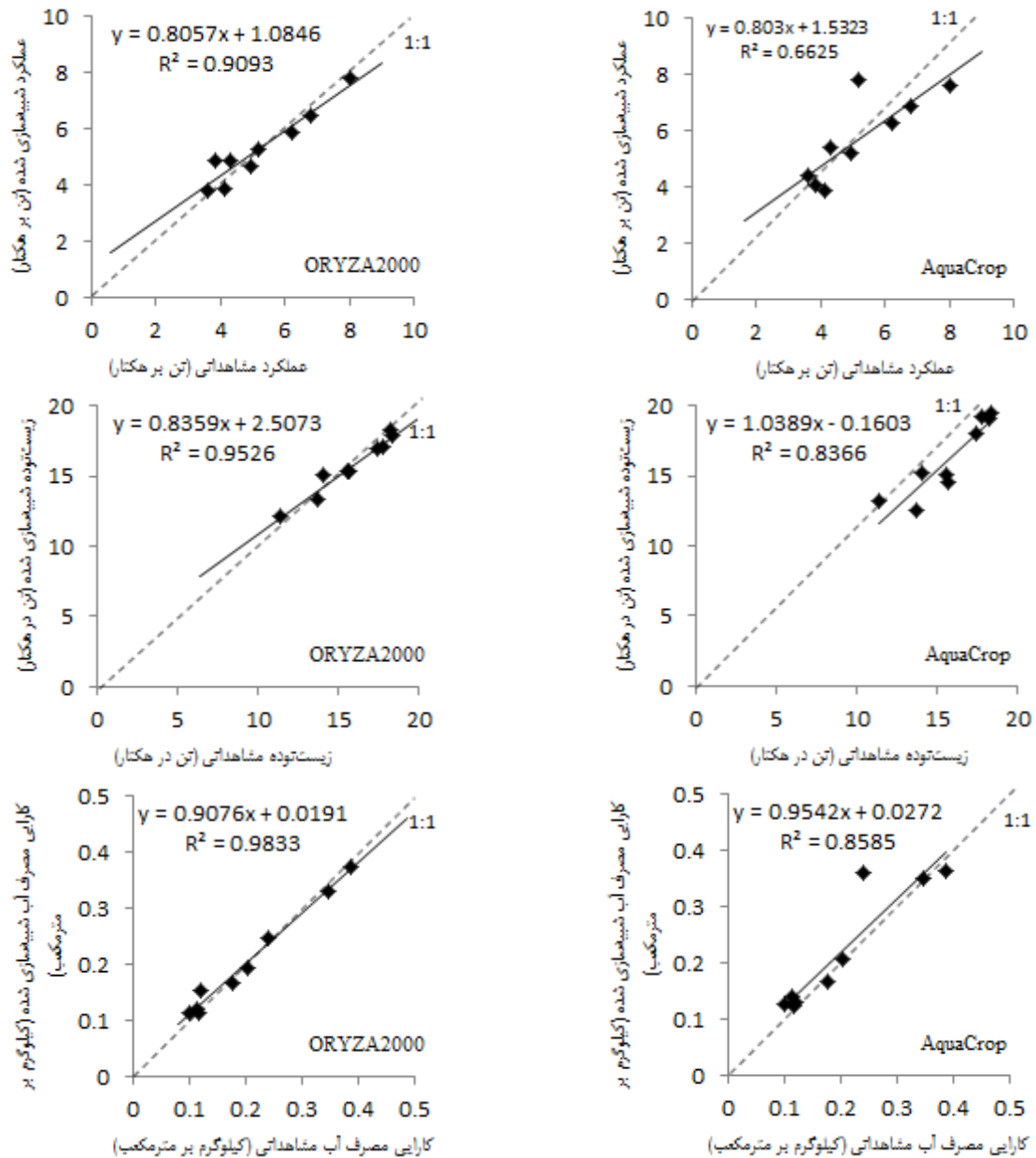


شکل ۶- مقایسه کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب) مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با مدل‌های AquaCrop و ORYZA (V1: عنبروری قرمز، V2: چمپا و V3: دانیال؛ D1: روش نشایی، D2: روش مستقیم و D3: روش خشکه‌کاری)

آماره MBE در جدول (۵) نیز قابل توجیه است. مقایسه نتایج به دست آمده در شکل (۶) و جدول (۵) نشان داد که مدل ORYZA در شبیه‌سازی زیست‌توده دچار خطای کم‌برآوردی و در شبیه‌سازی کارایی مصرف آب دچار خطای بیش‌برآوردی شد. به دلیل خطای کم‌برآوردی این مدل در شبیه‌سازی عملکرد، کارایی مصرف آب نیز دچار این نوع خطا شد. مدل AquaCrop نیز برای شبیه‌سازی زیست‌توده برنج دچار بیش‌برآوردی و در تعیین کارایی مصرف آب دچار خطای کم‌برآوردی شد. براساس نتایج به دست آمده برای مدل AquaCrop، آماره‌های RMSE و NRMSE برای عملکرد دانه برنج به ترتیب برابر با ۱/۰۷ تن در هکتار و ۰/۱۴ بود. با توجه به آماره NRMSE دقت این مدل خوب بود. این نتایج با مشاهدات هسیائو و همکاران، هنگ و همکاران و فراهانی و همکاران مطابقت داشت (Hsiao et al., 2009; Heng et al., 2009; Farahani et al., 2009). نتایج آماره‌های ذکر شده برای شبیه‌سازی زیست‌توده نشان دادند که این مدل در تعیین زیست‌توده برنج دقت عالی داشت و کارایی آن نیز مطلوب بود. کارایی و دقت مدل AquaCrop برای تعیین کارایی مصرف آب مطلوب نبود. ژای و همکاران و پیرمادیان و دواتگر به ترتیب میزان NRMSE را برای شبیه‌سازی برنج با مدل AquaCrop در محدوده ۰/۰۹ و ۰/۰۸ گزارش کردند (Zhai et al., 2019; Pirmoradian and Davatgar, 2019).

این ضریب برای زیست‌توده برابر با ۰/۸۳ بود که مقدار بالاتر داشت. ضریب تبیین برای کارایی مصرف آب برابر با ۰/۸۵ بود. ضریب تبیین به دست آمده توسط اعلائی بازکیایی و همکاران برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده برنج در محدوده ۰/۷ گزارش شد (Aalaee Bazkiaee et al., 2020). ژای و همکاران نیز مقدار ضریب تبیین برای تعیین عملکرد را بین ۰/۵۷-۰/۹۲ گزارش کردند. این محققان از منحنی درجه دو برای تعیین همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده استفاده نمودند؛ به همین دلیل در برخی تیمارها مقدار ضریب تبیین بالاتر از مقادیر به دست آمده از تحقیق حاضر بود (Zhai et al., 2019). مقادیر ضریب تبیین برای پارامترهای عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب شبیه‌سازی شده با مدل ORYZA به ترتیب برابر با ۰/۹۵، ۰/۹۰ و ۰/۹۸ بود. مقایسه این نتایج با مدل AquaCrop نشان داد که مقادیر ضریب تبیین مدل ORYZA در همه تیمارها بیشتر است.

معادله خطا برازش داده شده برای شبیه‌سازی عملکرد برنج توسط AquaCrop نشان داد که این مدل گیاهی تا عملکرد برابر با ۷/۷ تن در هکتار دچار خطای بیش‌برآوردی و پس از آن دچار خطای کم‌برآوردی می‌شود. اما مدل ORYZA تا عملکرد ۵/۵ تن در هکتار دارای خطای بیش‌برآوردی است. با توجه به اینکه در تعدادی از تیمارها عملکرد بیشتر از ۵/۵ مشاهده شد، در نتیجه مدل ORYZA در حالت کلی دچار خطای کم‌برآوردی می‌باشد. این نتایج با توجه به



شکل ۷- همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب برنج با مدل‌های AquaCrop و ORYZA

(Aalae Bazkiaee et al., 2020; Zhai et al., 2019; Pirmoradian and Davatgar, 2019; Li et al., 2017). لی و همکاران مقدار آماره RMSE برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده برنج با استفاده از مدل ORYZA را در محدوده ۰/۱۶-۰/۱۱ تن در هکتار گزارش نمودند که از مقادیر به دست آمده در این تحقیق بالاتر بود (Li et al., 2017). مقایسه دو آماره EF و d بین دو مدل گیاهی مورد استفاده نشان داد که در شبیه‌سازی هر سه پارامتر، کارایی مدل AquaCrop بهتر از ORYZA بود.

اعلایی بازکیایی و همکاران با شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده برنج با استفاده از مدل AquaCrop، مقادیر NRMSE را برای این دو پارامتر به ترتیب برابر با ۰/۰۹ و ۰/۰۵ گزارش نمودند (Aalae Bazkiaee et al., 2020). این محققان کارایی مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی عملکرد برنج در محدوده ۰/۶ بیان کردند. این نتایج با جدول (۵) نشان دهنده دقت پایین مدل AquaCrop در تحقیق حاضر است. مقادیر برآورد شده NRMSE توسط مدل ORYZA به مقادیر گزارش شده توسط زای و همکاران، پیرمردیان و دواتگر و اعلایی بازکیایی و همکاران نزدیکی بیشتری داشت

جدول ۵- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب برنج

D	EF	MBE	RMSE	NRMSE	نام مدل	پارامتر
۰/۹۹	۰/۹۰	۰/۳۶	۱/۰۷	۰/۱۴	AquaCrop	عملکرد (تن در هکتار)
۰/۹۹	۰/۷۰	-۰/۰۶	۰/۶۱	۰/۰۸	ORYZA	
۰/۹۹	۰/۹۲	-۰/۳۲	۱/۲۰	۰/۰۷	AquaCrop	زیست‌توده (تن در هکتار)
۰/۹۹	۰/۷۷	-۰/۳۲	۰/۶۹	۰/۰۴	ORYZA	
۰/۹۹	۰/۳۱	-۰/۱۵	۰/۴۰	۰/۱۱	AquaCrop	کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)
۰/۹۹	۰/۱۵	-۰/۱۳	۰/۴۰	۰/۰۳	ORYZA	

نتیجه‌گیری

براساس نتایج به‌دست آمده، هر دو مدل دقت قابل‌قبولی برای شبیه‌سازی عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب برنج داشتند، اما دقت مدل ORYZA اندکی بهتر از مدل AquaCrop بود. این نتایج نشان داد که مدل ORYZA در برآورد عملکرد دانه ($MBE < 0$) و مدل AquaCrop در تعیین کارایی مصرف آب ($MBE < 0$) خطای کم‌برآوردی داشتند. در سایر حالات هر دو مدل دچار خطای بیش‌برآوردی شدند ($MBE > 0$). نتایج کارایی مدل AquaCrop براساس آماره‌های d (۰/۹۹) و EF (۰/۳۱-۰/۹۲) و مدل ORYZA با مقادیر d (۰/۹۹) و EF (۰/۱۵-۰/۷۷) نشان داد که مدل AquaCrop کارایی بهتری داشت. خطای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب به ترتیب ۱۴، ۷ و ۱۱ درصد و خطای مدل ORYZA برای شبیه‌سازی این پارامترها به ترتیب ۸، ۴ و ۳ درصد بود. بنابراین، استفاده از مدل ORYZA جهت شبیه‌سازی برنج سبب دستیابی به نتایج دقیق‌تری می‌شود. با این وجود، نتایج مدل AquaCrop نیز قابل‌قبول بود و برای تعیین پارامترهای مورد نظر کارایی مطلوب داشت. به‌دلیل سهولت دسترسی و کاربرپسندتر بودن این مدل گیاهی، با پذیرش اندکی خطای بیشتر، می‌توان از این مدل نیز برای ارزیابی‌های اولیه استفاده کرد. از این رو، پیشنهاد می‌شود با استفاده از مدل‌های واسنجی شده‌ی AquaCrop و ORYZA، واکنش ارقام مختلف گیاه برنج نسبت به روش‌های کاشت در استان خوزستان بررسی شده و تیمار مناسب برای هر منطقه تعیین گردد.

منابع

ابراهیمی پاک، ن. ع.، احمدی، م.، اگدرنژاد، ا. و خاشعی سیوکی، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد زعفران تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری و مصرف زئولیت. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، (۱)۸: ۱۱۷-۱۳۲.

ابراهیمی‌راد، ح.، بابازاده، ح.، امیری، ا. و صدقی، ح. ۱۳۹۷. اثر تراکم

کاشت و مدیریت آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج در منطقه کوشال لاهیجان، استان گیلان. تحقیقات آب و خاک ایران. (۲)۴۹: ۳۷۷-۳۸۳.

احمدی، م.، قنبرپوری، م. ع. و اگدرنژاد، ا. ۱۴۰۰. مقدار آب کاربردی گندم با استفاده از تحلیل حساسیت و ارزیابی مدل AquaCrop. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. (۱)۸: ۱۵-۳۰.

اعلایی‌بازکیایی، پ.، کامکار، ب.، امیری، ا.، کاظمی، ح.، رضایی، م. و اکبرزاده، س. ۱۳۹۸. شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب در کشت برنج تحت شرایط مدیریت آبیاری و تاریخ کاشت با مدل AquaCrop. نشریه حفاظت منابع آب و خاک، (۲)۹: ۳۳-۱۷.

اگدرنژاد، ا.، ابراهیمی پاک، ن. ع.، تافته، آ. و احمدی، م. ۱۳۹۷. برنامه ریزی آبیاری کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در دشت قزوین. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. (۲)۵: ۵۳-۶۴.

امیری، ا.، رضایی، م. و شیرشاهی، ف. ۱۳۹۸. عملکرد مدل AquaCrop در شرایط مدیریت تنش شوری و خشکی برنج. نشریه مدیریت آب در کشاورزی. (۱)۶: ۲۲-۱۳.

امیری لاریجانی، ب.، طهماسبی سروسستانی، ز.، نعمت‌زاده، ق.، امیری، ا. و اصفهانی، م. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی مراحل نمو فیزیولوژیک و طول دوره رشد سه رقم برنج در سنین مختلف گیاهچه با استفاده از مدل ORYZA 2000. نشریه علوم زراعی ایران. (۳)۱۳: ۴۸-۴۶۶.

پورغلام آمیجی، م.، لیاقت، ع. م. و خوش‌روش، م. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل AquaCrop در تخمین عملکرد برنج تحت کشت آبیاری تناوبی. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران. (۴)۱۱: ۳۲۰-۳۰۵.

گیلانی، ع. ع. و آبالان، ش. ۱۳۹۴. مقایسه روش خشکه‌کاری با شیوه‌های رایج کاشت ارقام برنج از نظر میزان آب مصرفی. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان. ۲۲ صفحه

- Steduto P 2009. Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. *Agronomy*. 101: 477-487.
- Geerts S., Raes D., Garcia M., Miranda R. and Cusicanqui J.A 2009. Simulating yield response to water of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with FAO-AquaCrop. *Agronomy*. 101: 499-508.
- Geerts, S. and Raes, D. 2009. Defecit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agricultural Water Management*. 96: 1275-1284.
- 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(3):488-498.
- Hsiao, T.C., Heng, L., 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(3): 448-459.
- IRRI 2008. Background Paper: The Rice Crisis: What Needs to Be Done? IRRI, Los Baños, Philippines.
- Kropff, M. J., van Laar, H. H. and Matthews R. B. (Eds.). 1994. ORYZA1: an ecophysiological model for irrigated rice production. SARP Research Proceedings. Wageningen. The Netherland.
- Li, T., Angeles, O., Marcaida, M., Manalo, E., Manalili, M. P., Radanielson, A. and Mohantray, S., 2017. From Oryza 2000 to Oryza (v3): an improved simulation model for rice in drought and nitrogen-deficient environment, *Agricultural and Forest Meteorology*. 237-238: 246-256.
- Maniruzzaman M., Talukder M.S.U., Khan M.H., Biswas, J.C. and Nemes A. 2015. Validation of the AquaCrop model for irrigated rice production under varied water regimes in Bangladesh. *Agricultural Water Management*. 159: 331-340.
- Pirmoradian, N. and Davatgar, N. 2019. Simulation the effects of climatic fluctuation on rice irrigation water requirement using AquaCrop, *Agricultural Water Management*. 213 (1): 97-106.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. and Fereres, E. 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*. 101:438–447.
- Saadati, Z.N. Pirmoradian and M. Rezaei. 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.
- Sharma, P. K., Ladha, J. K. and Bhushan, L. 2003. Soil physical effects of puddling in rice-wheat cropping systems. In “Improving the Productivity and
- رضایی، گ.، خالدیان، م.، ر.، کاوسی کلاشمی، م. و رضایی، م. ۱۴۰۰. ارزیابی شاخص‌های بهره‌وری آب در استان‌های عمده تولید کننده برنج در ایران. نشریه آبیاری و زهکشی. ۳(۱۵): ۶۳۴-۶۳۶.
- مومن‌زاده، س. ف.، قلی‌پوری، ع.، آل‌ابراهیم، م. ت. و امیری، ا. ۱۴۰۱. ارزیابی مدل ORYZA 2000 برای پیش‌بینی تولید ارقام برنج تحت مدیریت آبیاری غرقاب و تنش خشکی. نشریه آبیاری و زهکشی. ۱(۱۶): ۲۱۷-۲۲۹.
- Aalaee Bazkiaee, P., Kamkar, B., Amiri, E., Kazemi, H., Rezaei, M. and Akbarzadeh, S. 2020, Simulation of growth and yield and evaluation of rice production productivity under irrigation management and planting date using AquaCrop model, *Water and Soil Resources Conservation*. 9(2): 17-34.
- Bouman, B. A. M. and van Laar, H. H. 2006. Description and evaluation of the rice growth model ORYZA2000 under nitrogen-limited conditions. *Agricultural System*. 87: 249-273.
- Bouman, B. A. M., Krop, M. J., Tuong, T. P., Wopereis, M. C. S., Ten Berge, H. F. M. and van Laar, H. H. 2001. ORYZA2000: Modelling Lowland Rice. International Rice Research Institute, Wageningen University and Research Centre. Los Ban os. Philippines. Wageningen. The Netherlands.
- Cao, B., Hua, Sh., Ma, Y., Li, B., and Sun, Ch. 2017. Evaluation of ORYZA 2000 for simulating rice growth of different genotypes at two latitudes. *Agronomy*. 106(6): 2613-2629.
- Cui, Z.L.; Zhang, H.Y.; Chen, X.; Zhang, C.; Ma, W.; Huang, C.; Zhang, W.; Mi, G.; Miao, Y.; Li, X.; et al. 2018. Pursuing sustainable productivity with millions of smallholder farmers. *Nature*. 555: 363–366.
- Drenth, H., ten Berge F. F. M. and Riethoven, J. J. M. 1994. ORYZA simulation modules for potential and nitrogen limited rice production. SARP Research Proceedings. Wageningen. The Netherlands.
- Driessen, P. M. 1986. The water balance of the soil. In: van Keulen, H. and Wolf, J. (Eds.) Modelling of agricultural production: weather, soils and crop. Simulation Monographs. Pudoc. Wageningen. The Netherlands.
- FAO, 2017. FAOSTAT. Statistical Databases. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org>.
- Farahani H. J., Izzi G., Steduto P. and Oweis T Y 2009. Parameterization and evaluation of AquaCrop for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy*. 101: 469-476.
- Garcia-Vila M., Fereres E., Mateos L., Orgaz F and

- Agronomy. 101: 509-521.
- Wopereis, M. C. S. Bouman, B. A. M., Tuong, T. P., ten Berge, H. F. M. and Kropff, M. J. 1996. ORYZA_W: rice growth model for irrigated and rainfed environments. SARP Research Proceedings. Wageningen. The Netherlands.
- Yuan, Sh., Peng, Sh., Li, T. 2017. Evaluation and application of the ORYZA rice model under different crop managements with high-yielding rice cultivars in central China. *Field Crop Research*. 212: 115-125.
- Zhai, B., Fu, Q., Li, T., Liu, D., Ji, Y., Li, M. and Cui, S. 2019. Rice irrigation schedule optimization based on the AquaCrop model: study of the Longtougiao irrigation district, *Water*. 11(9): 1799.
- Sustainability of Rice-Wheat Systems: Issues and Impacts” (J. K. Ladha, J. E. Hill, J. M. Duxbury, R. K. Gupta, and R. J. Buresh, Eds.), pp. 97–113. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, ASA Special Publication 65.
- Stricevic, R., Cosic, M., Djurovic, N., Pejic, B. and Maksimovic, L. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize, sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management*. 98: 1615-1621.
- Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abisaab, M. and Stwckle C 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes.

Comparison of AquaCrop and ORYZA in Simulating Yield, Biomass and Water Use Efficiency of Three Rice Cultivars under Different Cultivation Methods

S. A. Hossein Mousavi¹, A. Egdernezhad^{2*}, A. Gilani³

Received: May.31, 2022

Accepted: Jul.22, 2022

Abstract

In order to simulate rice yield, biomass and water use efficiency using two crop models, AquaCrop and ORYZA, this research was conducted at Khuzistan Agricultural Research Station. In this study, three types of cultivation (D1: transplanting, D2: current direct seeding consorted seeding, and D3: dry bed seeding) and rice cultivars (V1: Red-Anburi, V2: Champa, V3: Danial) were considered. Results showed that AquaCrop model had acceptable accuracy for simulation of rice yield based on MBE ($0.36 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$), RMSE ($1.07 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$) and NRMSE (0.14) values. Above mentioned values for ORYZA were $1.07 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, $-0.06 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ and 0.14, respectively. RMSE, MBE and NRMSE values for biomass simulated by AquaCrop were $1.20 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, $0.07 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ and 0.32, respectively. The mentioned values for biomass simulated by ORYZA were $0.69 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$, $0.04 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ and -0.22 , respectively. NRMSE for biomass simulated by AquaCrop and ORYZA were 0.22 and -0.22 , respectively. MBE, RMSE and NRMSE values for water use efficiency simulated by AquaCrop for $-0.11 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and 0.15, respectively. Those values for water use efficiencies simulated by ORYZA were $-0.03 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and -0.13 , respectively. MBE, RMSE and NRMSE values for water use efficiency simulated by AquaCrop were $-0.11 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and 0.15, respectively. Those values for water use efficiency simulated by ORYZA were $-0.03 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, $0.4 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ and -0.13 , respectively. Regarding the results, it is recommended to use ORYZA model for simulation of rice yield, biomass and water use efficiency.

Keywords: Crop Modeling, Danial Cultivar, Dry Bed Seeding, Red Anburi Rice, Transplanting.

1- M.Sc. Student of Irrigation and drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering and Sciences, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

3- Associated professor, Department of irrigation and soil physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(*- Corresponding author: Email: a_eigder@ymail.com)