

عملکرد مدل Aquacrop در شرایط مدیریت تنش شوری و خشکی برنج

ابراهیم امیری^{۱*}، مجتبی رضایی^۲ و فهیمه شیرشاهی^۳

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی و ارزیابی دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس کل در شرایط مدیریت شوری و خشکی آبیاری در گیاه برنج در رشت طی سال‌های زراعی ۹۰-۸۹ به صورت کشت گلدانی در ستاد موسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد. تیمارها شامل ۴ سطح شوری آب آبیاری به شرح: S1، آب معمولی با شوری کمتر از ۱ دسی زیمنس بر متر، S2، S3، S4 به ترتیب شوری آب ۲، ۴، ۶ دسی زیمنس بر متر و همچنین پنج روش آبیاری شامل I0: آبیاری غرقاب دائم، I1، I2، I3، I4 به ترتیب آبیاری در حالت اشباع (AWD)، آبیاری در ظرفیت زراعی (FC)، آبیاری در نقاط رطوبتی ۱۰۰، ۹۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بود. مدل AquaCrop برای برنج نسبت به تنش شوری و خشکی مورد ارزیابی قرار گرفته است. داده‌های اندازه‌گیری شده سال اول برای واسنجی و سال دوم برای صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفت. با استفاده از ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطا نرمالایز شده (RMSEn)، درصد خطای نسبی و آزمون تی (T-test) مقایسه نتایج شبیه‌سازی شده با داده‌های اندازه‌گیری شده انجام شد. مدل AquaCrop بیوماس کل را به طور میانگین با ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب ۰/۸۳ و ۱۱٪ در تیمارهای شوری کمتر از آستانه تحمل شوری گیاه تا ۰/۶ و ۳۸٪ در تیمارهای شوری بالاتر از آستانه و عملکرد دانه را به ترتیب در تیمارهای کمتر تا بیشتر از آستانه ۰/۸۵ و ۹٪ تا ۰/۴۳ و ۳۳٪ شبیه‌سازی کرد نتایج نشان می‌دهد که مدل در شوری‌های کمتر از آستانه تحمل شوری گیاه عملکرد قابل قبول دارد.

واژه‌های کلیدی: برنج، رشت، مدل Aquacrop، مدیریت شوری

مقدمه

میلیارد مترمکعب) را شامل می‌شود. با توجه به توزیع نامناسب دبی رودخانه‌ها به‌ویژه رودخانه سفیدرود که حوزه اصلی آبریز آن در خارج از استان گیلان می‌باشد، هر ساله کشاورزان استان گیلان به‌ویژه شالیکاران که عمده استفاده‌کنندگان از شبکه آبیاری مدرن سد سفیدرود می‌باشند، با مشکلات فراوانی جهت تأمین آب اراضی خود مواجه می‌شوند. مصارف آبی‌پروری، شرب شهری، صنایع و باغات زیتون نیز متحمل تنش‌های شدید آبی می‌شوند. مناطق زیادی از این اراضی به دلایل گوناگون از جمله هم‌جواری با دریا از این مزیت بی‌بهره بوده و از معضل شوری خاک و آب رنج می‌برند. این در حالی است که هرگونه شوری آب و یا خاک باعث توقف جوانه‌زنی، کاهش عملکرد و اجزای عملکرد شده و در نتیجه آن کشاورزان متحمل ضرر زیادی می‌شوند (Kiani et al., 2006).

با توجه به مسئله بحران رو به رشد آب در کشور، شوری و کمبود آب از محدودیت‌های عمده تولید محصولات زراعی هستند. کاهش آب گاهی با استفاده از آب‌های شور توسط کشاورزان جبران می‌شود. شوری باعث بروز مسائل و مشکلات زیادی در مناطق وسیعی از اراضی کشاورزی جهان می‌باشد (Kijne, 2006). رودخانه سفیدرود منبع اصلی تأمین آب آبیاری دشت گیلان می‌باشد. این رودخانه دارای آورد سالانه‌ای در حدود ۴۷۰۰ میلیون مترمکعب می‌باشد (بر اساس متوسط ۴۰ ساله سال‌های ۱۳۴۶-۱۳۴۵ لغایت ۱۳۸۵-۱۳۸۴) و شریان اصلی تأمین آب کشاورزی گیلان محسوب می‌شود و نیمی از مجموع آورد سالانه رودخانه‌های استان گیلان (در حدود ۸

در این زمینه هم در محافل کشاورزان و هم در مطالعات محققین تجربیات زیادی در دنیا وجود دارد. به‌منظور کاهش آزمایش‌های صحرائی پرهزینه و زمان‌بر، استفاده از نرم‌افزارها، گزینه معقولی به شمار می‌رود. در این میان، بررسی واکنش عملکرد محصول به آب در نشریه ۳۳ فائو (Doorenbos and Kassam, 1979) قابل‌ملاحظه است. اندازه‌گیری تمام پارامترهای موردنیاز و نیز روند تجمعی شکل‌گیری محصول

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

(* نویسنده مسئول: eamiri57@yahoo.com)

۲ موسسه تحقیقات برنج کشور. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج

کشاورزی، رشت، ایران

۳ دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اراک، باشگاه پژوهشگران

جوان و نخبگان، اراک، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۲/۸

تاریخ پذیرش: ۹۸/۶/۱۵

کشت جو (۲۰۰۶، ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹) در ایتویبی با اعمال سناریوهای آبیاری کامل و کم آبیاری و شبیه‌سازی آن با مدل AquaCrop نشان داد مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه و مقدار کل ماده خشک، تحت شرایط کم آبیاری، بیش برآورد می‌نماید (Alemie et al., 2010).

در بخش شمالی ایتویبی در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۸ در کشت غلات بومی شمال آفریقا (Teff) مدل AquaCrop پس از واسنجی و اعتبارسنجی نشان داد ضریب واکنش عملکرد محصول نسبت به آب، بیوماس و رطوبت خاک شبیه‌سازی شده با مدل کاملاً مطابقت داشت (Araya et al., 2010).

در یک بررسی بلندمدت به منظور تعیین میزان عملکرد ذرت در بارندگی و دماهای مختلف در کنیا مدل AquaCrop برای ذرت واسنجی و صحت سنجی شد. طبق نتایج مدل بیوماس را بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده تخمین زده است که علت این امر کم بودن تعداد اندازه‌گیری‌های صحرائی گزارش شد (Wamari et al., 2012).

در تحقیقی بر روی سبب‌زمینی در یکی از شهرهای آرژانتین میزان ضریب همبستگی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی شده بیوماس کل $0/94$ ($P < 0.001$) بدست آمد. همچنین در این تحقیق مدل در شبیه‌سازی پوشش تاج سبز کم‌برآورد و در شبیه‌سازی بیوماس بیش برآورد بود (Casa et al., 2013).

در هند دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد محصول گندم و بهره‌وری آب با استفاده از تیمارهای شوری مختلف بررسی و مقادیر R2 در برآورد عملکرد دانه، بیوماس و بهره‌وری آب به ترتیب $0/85$ ، $0/7$ و $0/7$ بدست آمد. نتایج نشان داد که مدل در برآورد عملکرد دانه در قیاس با بیوماس و بهره‌وری آب توانا تر عمل نموده است (Kumar et al., 2014).

بیشتر تحقیقات در زمینه مدل AquaCrop، در شرایط بدون شوری و عمدتاً برای شبیه‌سازی کم آبیاری و عملکرد محصول صورت گرفته است (Patel et al., 2008).

با توجه به تحقیقات فوق‌الذکر، کمبود مطالعه در زمینه دقت مدل در شبیه‌سازی در شرایط مدیریت تنش شوری و تنش توأمان شوری و خشکی در گیاهان مختلف و مناطق جغرافیایی مختلف حس می‌شود. لذا هدف این تحقیق بررسی و ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس کل در شرایط مدیریت شوری و خشکی آب آبیاری در گیاه برنج در رشت می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این آزمایش طی سال‌های زراعی ۹۰-۸۹ به صورت کشت

(زیست‌توده و دانه) در سطح مزرعه دشوار است، اما با به‌کارگیری مدل‌های شبیه‌سازی تولید این کار میسر خواهد بود (توکلی و همکاران، ۱۳۹۲). مدل AquaCrop نسبت به سایر مدل‌های گیاهی ساده و دقیق است که اصول اساسی برای شبیه‌سازی به‌وسیله استدیو و همکاران (Steduto et al., 2009) و الگوریتم مورد استفاده در مدل، به‌وسیله رایس و همکاران (Raes et al., 2009) ارائه شده است. از آنجاکه نسخه جدید این مدل به‌تازگی توسعه یافته است، تحقیقاتی در ایران و جهان به‌منظور واسنجی مدل در مناطق مختلف و برای گیاهان مختلف انجام گرفته که گزیده‌ای از آن‌ها به شرح زیر می‌باشد:

علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی عملکرد شبیه‌سازی مدل AquaCrop در مدیریت کم آبیاری گندم پرداختند. نتایج این طرح نشان دادند که این شبیه‌سازی از دقت کافی در تخمین عملکرد محصول در شرایط آبیاری کامل، کم آبیاری و آبیاری تکمیلی برخوردار است.

حیدری‌نیا و همکاران (۱۳۹۱) به امکان‌سنجی استفاده از مدل AquaCrop در برنامه‌ریزی آبیاری برای گیاه آفتابگردان در اهواز پرداختند. نتایج شاخص‌های آماری نشان از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد داشته است به‌عنوان مثال میزان مجذور مربعات خطای بین عملکرد مشاهده شده و اندازه‌گیر شده کمتر از ۵ درصد بوده است.

در جنوب ایتالیا با کشت آفتابگردان تحت رژیم‌های مختلف آبیاری طی سه فصل زراعی (۲۰۰۷ - ۲۰۰۵) و ارزیابی نتایج با مدل‌های AquaCrop، CropSyst و WOFOST نشان داد مدل AquaCrop، ضمن نیاز به داده‌های کمتر، مقدار عملکرد محصول و کل ماده خشک را بهتر از دو مدل دیگر برآورد می‌نماید (Todrovic et al., 2009).

فراهانی و همکاران (۲۰۰۸) به کالیبراسیون مدل AquaCrop و سپس آزمایش مدل تحت آبیاری کامل و ۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آبیاری کامل برای پنبه در سوریه پرداختند. نتایج این طرح میزان خطای حداکثر ۱۰ درصد را بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی در حالت‌های آبیاری کامل و ۴۰ درصد نشان داد اما در ۶۰ و ۸۰ درصد کامل آبیاری، میزان خطا تا حدود ۳۲ درصد افزایش یافت (Farahani et al., 2008).

کاشت گیاه بومی کوئینوا طی سه فصل زراعی (۲۰۰۷ - ۲۰۰۴) در بولیوی و شبیه‌سازی دوره رشد آن با مدل AquaCrop نشان داد مدل به‌خوبی توانسته است کاهش شاخص برداشت را طی دوره خشکی اعمالی، در دوره پر شدن دانه‌ها شبیه‌سازی نماید. همچنین، مقادیر ضریب تبیین $0/87$ و $0/83$ به ترتیب برای مقدار بیوماس کل و عملکرد دانه، تحت رژیم‌های مختلف آبیاری به دست آمد (Geerts et al., 2009).

گلدانی در ستاد موسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت با در قالب فاکتوریل بر پایه طرح بلوک کامل تصادفی با ۳ تکرار به اجرا درآمد. گیاه مورد مطالعه برنج رقم محلی هاشمی بود. آستانه‌ی شوری برنج رقم هاشمی در شهرهای شمالی برابر با ۱/۳ - ۲ دسی زیمنس بر متر گزارش شده است (کاووسی، ۱۳۷۴؛ اسدی و همکاران، ۱۳۸۸). تیمارها شامل ۴ سطح شوری آب آبیاری به شرح: S1، آب معمولی با شوری کمتر از ۱ دسی زیمنس بر متر، S2، S3، S4 به ترتیب شوری آب ۲، ۴، ۶ دسی زیمنس بر متر و همچنین پنج روش آبیاری شامل I0: آبیاری غرقاب دائم، I1، I2، I3، I4 به ترتیب آبیاری در حالت اشباع (AWD)، آبیاری در ظرفیت زراعی (FC)، آبیاری در نقاط رطوبتی ۱۰۰، ۹۰ و ۸۰ درصد ظرفیت زراعی بود. برای جلوگیری از ورود باران به گلدان‌ها، این آزمایش زیر شلتری به ارتفاع ۵ متر که فقط سقف آن با پلاستیک روشن پوشانیده شده بود انجام گردید. برای جلوگیری از افزایش دمای ناشی از عدم جریان هوا، اطراف شلتر کاملاً باز بوده و هوا به راحتی در آن جریان داشت. شلتر مذکور در وسط مزرعه تحقیقاتی قرار داشته است.

حدود ۹ کیلوگرم خاک شالیزاری از یک مزرعه به مقدار لازم و یکسان در گلدان‌های پلاستیکی ریخته و پس از غرقاب نمودن خاک‌ها، نشاکاری با ۳ نخ نشاء ۲۵ روزه انجام شد. به مدت ده روز آبیاری با آب معمولی انجام و سپس تیمارها اعمال شد. تمامی فسفر و پتاسیم و نصف مقدار نیتروژن به صورت پایه به ترتیب از منابع کودی سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم و اوره و در زمان آماده‌سازی خاک کاملاً با آن مخلوط گردید. بقیه مقدار نیتروژن در مرحله حداکثر پنجه‌زنی مصرف و با خاک مخلوط گردید. شوری‌های مورد نظر آب آبیاری با هدف شبیه‌سازی آب کانال‌های آبیاری منطقه و با استفاده از CaSO₄ و NaCl خالص با نسبت (۱:۲) تهیه و در هر مرحله عملیات آبیاری با آن‌ها انجام گرفت، برای جلوگیری از تجمع نمک گلدان‌ها در چند مرحله آبشویی با آب معمولی انجام شد. در زمان مقرر آبیاری تا ارتفاع ۵ سانتیمتر از سطح خاک گلدان انجام گرفت و تمامی مراحل زراعی طبق توصیه‌های موسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. در نهایت عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک اندازه‌گیری شد.

مدل Aquacrop

مدل Aquacrop خصوصاً در مناطقی که کمبود آب فاکتوری کلیدی است، جهت تعیین واکنش محصول به مقدار آب بکار می‌رود. این مدل از اصلاح و بازنگری نشریه ۳۳ فائم توسط متخصصان برجسته از سرتاسر جهان به دست آمده است

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x} \right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x} \right) \quad (1)$$

در این معادله، Y_x عملکرد حداکثر، Y_a عملکرد واقعی، ET_x تبخیر - تعرق حداکثر، ET_a تبخیر - تعرق واقعی و K_y ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی تبخیر - تعرق می‌باشد.

در واقع، Aquacrop با تفکیک تبخیر از تعرق، توسعه یک مدل ساده رشد و پیری تاج پوشش گیاهی به عنوان پایه برآورد تعرق و تفکیک آن از تبخیر، شبیه‌سازی عملکرد نهایی (Y) به عنوان تابعی از زیست‌توده نهایی (B) و شاخص برداشت (HI) و تفکیک اثرات تنش آبی در چهار جزء رشد پوشش تاجی گیاه، پیری پوشش تاجی گیاه، بسته شدن روزنه‌ها و کاهش تعرق و شاخص برداشت توسعه یافته است. تفکیک ET به Tr و E ، از اثر مصرف غیر تولیدی آب از طریق E به خصوص در زمانی که شرایط پوشش گیاهی کامل نیست جلوگیری می‌کند. تعرق روزانه (Tri) با استفاده از ETO روزانه و بهره‌وری آب (WP) که با استفاده از نیاز تعرقی و غلظت دی‌اکسید کربن نرمال شده است، به وزن بیوماس قسمت هوایی گیاه تبدیل می‌شود. معادله (۲) بیانگر این رابطه می‌باشد:

$$B_i = WP^* \left(\frac{Tr_i}{ETO_i} \right) \quad (2)$$

در معادله (۲)، B_i وزن تولید شده قسمت هوایی گیاه در روز i برحسب gr/m^2 ، Tri مقدار تعرق روزانه (mm)، ETO_i تبخیر - تعرق گیاه مرجع در روز i برحسب (mm)، WP^* بهره‌وری آب نرمال شده برحسب gr/m^2 و مقدار آن در شرایط اقلیمی مشابه، برای گیاهان C3 و همچنین گیاهان C4 ثابت و برابر است (Steduto et al., 2007).

در Aquacrop سیستم گیاهی از پنج جزء تشکیل شده است که شامل پاسخ‌های دینامیک فنولوژی، کانوپی، عمق ریشه‌زنی، تولید بیوماس کل و عملکرد اقتصادی است. در برنامه Aquacrop پاسخ کانوپی به کم‌آبی در طی ۳ مرحله رخ می‌دهد. ۱- کاهش در سرعت توسعه و گسترش نظیر کاهش (CGC)، ۲- کاهش در هدایت روزنه‌ای، ۳- پیری زودرس نظیر افزایش ضریب کاهش کانوپی (CDC).

تنش‌های تأثیرگذار بر CC شامل تنش آب، تنش درجه حرارت هوا، تنش شوری خاک و تنش مواد مغذی معدنی می‌باشد. در مدل Aquacrop پارامترهای گیاهی در شرایط تنش آبی از طریق تأثیر ضریب حساسیت گیاه به کم‌آبی (Ky) تعدیل می‌شوند. اگرچه مدل Aquacrop مبنی بر فرآیندهای بیوفیزیکی پیچیده بنا نهاده شده است (استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۹)، اما نیاز به پارامترهای ورودی کم و ساده‌ای دارد. پارامترهای موردنیاز این مدل به دو دسته پارامترهای ثابت و متغیر تقسیم‌بندی می‌شوند. اطلاعات ورودی شامل: اطلاعات اقلیم، خاک، مدیریت و خصوصیات گیاه می‌باشد. چهار متغیر ورودی اقلیم برای اجرای مدل موردنیاز می‌باشد: دمای حداکثر و حداقل روزانه، بارش روزانه و میانگین سالانه غلظت CO₂ اتمسفر. برای هر لایه خاک بافت خاک به‌علاوه خصوصیات هیدرولیکی شامل هدایت هیدرولیکی اشباع (Ksat) و مقدار رطوبت حجمی خاک در حالت اشباع (Θ_{sat})، ظرفیت مزرعه (Θ_{fc}) و نقطه پژمردگی (Θ_{wp}) لازم می‌باشند. مهم‌ترین خصوصیات گیاهی به‌طور مفصل در جدول ۳ ارائه شده است. در این تحقیق، مدل

تنش‌های تأثیرگذار بر CC شامل تنش آب، تنش درجه حرارت هوا، تنش شوری خاک و تنش مواد مغذی معدنی می‌باشد. در مدل Aquacrop پارامترهای گیاهی در شرایط تنش آبی از طریق تأثیر ضریب حساسیت گیاه به کم‌آبی (Ky) تعدیل می‌شوند. اگرچه مدل Aquacrop مبنی بر فرآیندهای بیوفیزیکی پیچیده بنا نهاده شده است (استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۹)، اما نیاز به پارامترهای ورودی کم و ساده‌ای دارد. پارامترهای موردنیاز این مدل به دو دسته پارامترهای ثابت و متغیر تقسیم‌بندی می‌شوند. اطلاعات ورودی شامل: اطلاعات اقلیم، خاک، مدیریت و خصوصیات گیاه می‌باشد. چهار متغیر ورودی اقلیم برای اجرای مدل موردنیاز می‌باشد: دمای حداکثر و حداقل روزانه، بارش روزانه و میانگین سالانه غلظت CO₂ اتمسفر. برای هر لایه خاک بافت خاک به‌علاوه خصوصیات هیدرولیکی شامل هدایت هیدرولیکی اشباع (Ksat) و مقدار رطوبت حجمی خاک در حالت اشباع (Θ_{sat})، ظرفیت مزرعه (Θ_{fc}) و نقطه پژمردگی (Θ_{wp}) لازم می‌باشند. مهم‌ترین خصوصیات گیاهی به‌طور مفصل در جدول ۳ ارائه شده است. در این تحقیق، مدل

جدول ۱- نتایج تجزیه شیمیایی خاک

pH	نیترژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم)
۷/۴	۰/۱۵۵	۱۷	۲۹۰

جدول ۲- نتایج تجزیه فیزیکی خاک

نقاط رطوبتی	اشباع	FC*	% 90 FC	% 80 FC	نوع خاک
درصد رطوبت حجمی	۶۵	۵۰	۴۵	۴۰	Si-Cl

* : رطوبت حجمی خاک در ظرفیت مزرعه‌ای (۳۳ کیلو پاسکال)

جدول ۳- مقادیر واسنجی شده پارامترهای مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاه برنج

میزان	واحد	پارامتر
۸	سانتی‌گراد	دمای پایه
۱۴/۰۳	درصد در هر درجه روز	ضریب افزایش سطح سایه‌انداز
۸۷	درصد	ماکزیمم سطح سایه‌انداز
۹/۲۴	درصد در هر روز	ضریب کاهش پوشش در پیری
۰/۵	-	آستانه بالای ضریب تنش آبی خاک برای گسترش تاجی
۳	-	ضریب شکل منحنی گیاه ضریب تنش آبی خاک تاجی گیاه
۰/۶	-	آستانه بالای ضریب تنش آبی خاک برای پیری پوشش تاجی
۳	-	ضریب شکل منحنی تنش آبی خاک برای پیری پوشش گیاه
۰/۰۰	کسری از کل آب موجود در خاک	حد بالای تخلیه آب جهت توسعه برگ‌ها
۰/۴	کسری از کل آب موجود در خاک	حد پایین تخلیه آب جهت توسعه برگ‌ها
۱۹	میزان بیوماس در هر مترمربع	بهره‌وری آب تعدیل شده
۴۷	درصد	شاخص برداشت

آنالیز داده‌ها

بررسی نتایج حاصل از مدل با نتایج مشاهده‌ای در سطح مزرعه و صحت یابی نتایج و ارزیابی قابل اعتماد بودن مدل به واسطه شاخص‌های ارزیابی شامل ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (RMSEn)، درصد خطای نسبی و آزمون تی (T-test) انجام شد. روابط شاخص‌های به صورت زیر می‌باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$RMSE_n = 100 \left(\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right)^{0.5} / O \quad (4)$$

$$ME = 100 (O_i - P_i) / O_i \quad (5)$$

که در آن‌ها P_i و O_i مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده و n تعداد مشاهدات است.

آزمون تی (T-test) اگر نتیجه آزمون تی بیشتر از 0.05 باشد می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معنی‌داری بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیست.

نتایج و بحث

نتایج شبیه‌سازی مقادیر بیوماس کل و عملکرد روزانه توسط مدل و داده‌های بیوماس کل و عملکرد اندازه‌گیری شده در سال اول (استفاده‌شده در واسنجی مدل گیاهی) و در سال دوم (به کاررفته در صحت سنجی مدل گیاهی) در جدول ۴ تا جدول ۷ نشان داده شده است.

واسنجی مدل

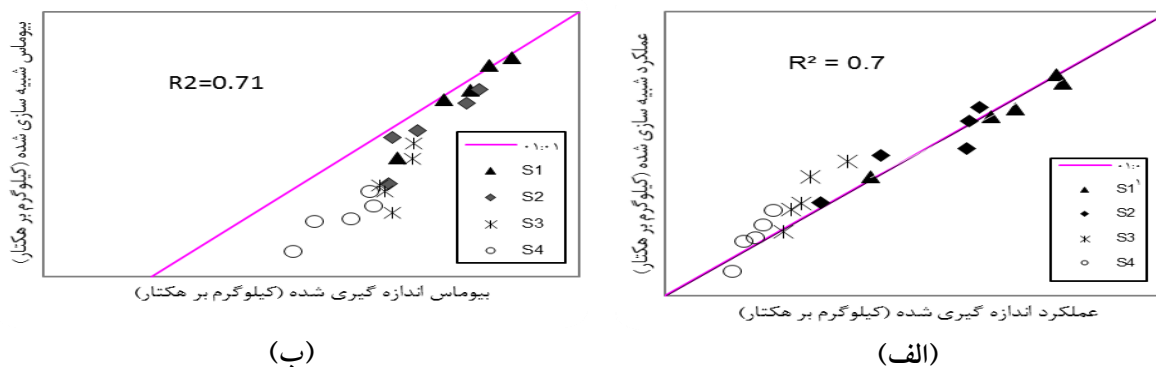
دقت نتایج واسنجی مدل AquaCrop بر اساس داده‌های صحرائی در شکل ۱، جدول ۴ و جدول ۵ نشان داده شده است.

دامنه عملکرد دانه مدل ۴۶۶۷ تا ۵۳۰ و دامنه عملکرد دانه در مزرعه از ۴۶۵۴ تا ۸۰۲ بود (جدول ۵). مقدار RMSEn در تیمارهای S1 و S2 در هر دو سال کمتر از ۱۵ درصد می‌باشد. در شکل ۱ میزان عملکرد دانه و بیوماس کل با خط یک‌به‌یک مقایسه شده است و در تیمارهای S3 و S4 میزان انحراف از خط یک‌به‌یک بیشتر است. طبق جدول ۵ دامنه بیوماس کل مدل از ۹۹۲۹ تا ۱۱۲۹ و دامنه بیوماس کل در مزرعه از ۱۰۱۱۳ تا ۳۹۶۴ بود، شبیه‌سازی مدل AquaCrop با ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده به ترتیب 0.85 و 0.8 تا 0.65 و 0.50 در شبیه‌سازی بیوماس کل بود. مقادیر آزمون Ttest در S1 و S2 به ترتیب 0.33 و 0.14 بود این در حالی است که این شاخص در تیمارهای S3 و S4 صفر بود (جدول ۵). در هر تیمار R2 و RMSEn به ترتیب 0.98 و 4 تا 0.7 و 31% در شبیه‌سازی عملکرد دانه محاسبه شد، لذا مدل در برآورد عملکرد محصول و مقدار بیوماس کل عالی عمل نموده است (Rinaldy et al., 2003). با توجه به میزان شاخص‌ها در تیمارهای آبیاری، کاهش میزان آب دریافتی منجر به کاهش عملکرد دانه و بیوماس کل شده مدل نیز کاهش عملکرد را نشان می‌داد اما با تنش آبی شدید دقت مدل به خاطر ساختار ضعیف آن کاهش یافته است. همچنین در تیمارهای S3 و S4 در بیوماس کل و عملکرد دانه به ترتیب بین $37-50$ و $30-31$ می‌باشد (جدول ۴ و جدول ۵). میزان خطای در شوری S1 و تیمارهای غرقاب تا I4 از $2-$ تا $22-$ افزایش و در هر یک از تیمارهای آبیاری از S1 تا S4 افزایش یافت. بیشترین خطا در تیمار I4S4 رخ داد (جدول ۴). لذا هرکدام از تنش‌های شوری و خشکی با دقت‌های متفاوت سبب کاهش عملکرد مدل شدند. این تأثیر در تیمار شوری شدیدتر بود.

جدول ۴- عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، خطا و پارامترهای آماری ۱۳۸۹

	S4=6 (dS/m)		S3=4(dS/m)		S2=2 (dS/m)		S1=1(dS/m)		خطا %	O*	S*	
	O	S	خطا %	O	S	خطا %	O	S				
غرقاب	۴۰	۱۲۹۴	۱۸۱۷	۳۱	۲۱۶۷	۲۸۴۴	۷	۳۷۳۹	۳۹۹۰	۰	۴۶۵۴	۴۶۶۷
I1	۲۹	۱۱۶۶	۱۵۰۰	۴۶	۱۷۲۲	۲۵۱۷	۲	۳۶۲۳	۳۷۰۱	-۵	۴۷۳۰	۴۵۰۱
I2	۱۵	۱۰۷۰	۱۲۳۲	۲۰	۱۶۲۳	۱۹۵۲	-۱۳	۳۵۸۹	۳۱۱۵	-۵	۴۱۷۵	۳۹۵۵
I3	۲۵	۹۳۱	۱۱۶۶	۲۱	۱۵۰۳	۱۸۲۴	۱۶	۲۵۶۶	۲۹۷۰	-۳	۳۸۸۲	۳۷۷۹
I4	-۳۴	۸۰۲	۵۲۰	-۳	۱۴۰۵	۱۳۵۹	۶	۱۸۵۴	۱۹۷۴	۳	۲۴۴۶	۲۵۲۱
R2		0.7			0.77			0.81			0.98	
RMSEn		۳۱			۳۰			۱۱			۴	
T test		0.21			0.10			0.44			0.44	
R2		0.70			0.77			0.81			0.98	

S* = شبیه‌سازی شده O = مشاهده و اندازه‌گیری شده



شکل ۱- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در مرحله واسنجی: الف. عملکرد دانه، ب. بیوماس کل

جدول ۵- بیوماس اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، خطا و پارامترهای آماری سال ۱۳۸۹

	S4=6 (dS/m)		S3=4 (dS/m)		S2=2 (dS/m)		S1=1 (dS/m)		O*	S*		
	O	S	خطا %	O	S	خطا %	O	S				
غرقاب	۶۱۲۱	۳۸۶۶	-۱۸	۷۳۵۱	۶۰۵۱	-۷	۹۱۷۹	۸۵۰۳	-۲	۱۰۱۱۳	۹۹۲۹	RMSE
I1	۶۲۲۸	۳۱۹۲	-۲۷	۷۳۳۰	۵۳۵۵	-۱۱	۸۸۳۸	۷۸۷۴	۱	۹۴۷۱	۹۵۷۶	RMSEn
I2	۵۵۸۶	۲۶۲۴	-۲۵	۶۴۱۶	۴۱۵۳	-۱۱	۷۴۶۴	۶۶۲۸	-۶	۸۹۴۹	۸۴۵۱	T test
I3	۴۵۸۱	۲۴۸۲	-۴۱	۶۵۴۳	۳۸۸۱	-۷	۶۷۵۵	۶۳۲۰	-۲	۸۱۹۷	۸۰۴۱	R2
I4	۳۹۶۴	۱۱۲۹	-۵۷	۶۷۵۶	۲۸۹۲	-۳۷	۶۶۴۸	۴۱۹۹	-۲۲	۶۸۸۹	۵۳۶۵	
	۲۶۶۵			۲۵۵۸			۱۲۸۶			۷۲۷		
	۵۰			۳۷			۱۷			۸		
	۰/۰۰			۰/۰۰			۰/۱۴			۰/۳۳		
	۰/۶۵			۰/۳			۰/۷۲			۰/۸۵		

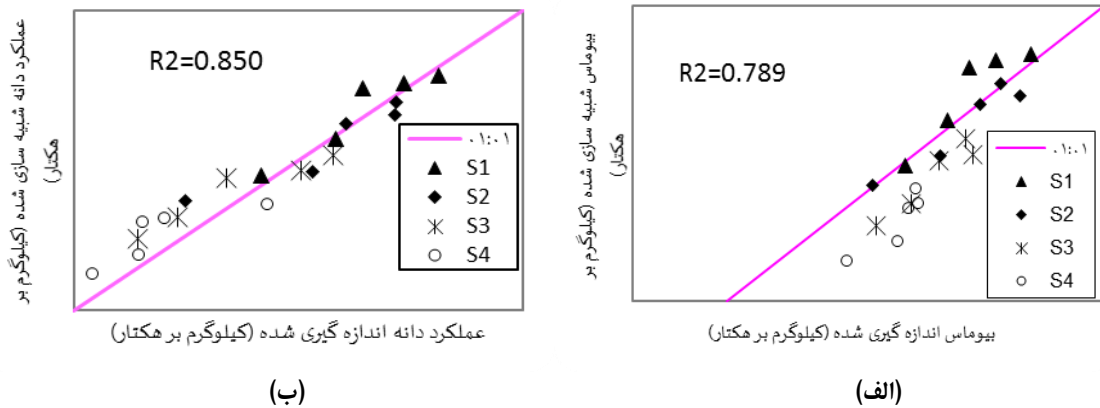
O* = مشاهده و اندازه‌گیری شده S* = شبیه‌سازی شده

دقت نتایج اعتبار یابی مدل AquaCrop بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در سال دوم در شکل ۲ و جدول ۶ و جدول ۷ نشان داده شده است. دامنه عملکرد دانه شبیه‌سازی شده از ۴۷۰۴ تا ۷۴۲ و عملکرد دانه اندازه‌گیری شده از ۴۸۷۰ تا ۲۵۰ بود (جدول ۶). در شکل ۲ میزان عملکرد دانه و بیوماس کل با خط یک‌به‌یک مقایسه شده است و در تیمارهای S3 و S4 میزان انحراف از خط یک‌به‌یک بیشتر است. مقدار ضریب تبیین در عملکرد دانه ۰/۸ و در بیوماس کل ۰/۷۸ می‌باشد. این موضوع به علت همبستگی پایین بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد. همان‌طور که در مورد سال اول ذکر شد، شاخص RMSEn طبق نتایج موجود در جدول ۶ و جدول ۷ در تیمارهای S3 و S4 در بیوماس کل و عملکرد دانه به ترتیب بین ۲۴-۴۲٪ و ۲۲-۴۸٪ بود. بیوماس کل شبیه‌سازی شده از ۱۰۰۰۸ تا ۱۵۷۹ و محدوده تغییرات بیوماس کل اندازه‌گیری شده از ۹۶۸۵ تا ۳۸۴۲ بود. مقدار R2 از ۰/۸۵ تا ۰/۶۱ و مقدار RMSEn از ۱۳٪ تا ۴۲٪ در شبیه‌سازی بیوماس کل افزایش یافت (جدول ۷). مدل عملکرد دانه را با

دقت نتایج اعتبار یابی مدل AquaCrop بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده در سال دوم در شکل ۲ و جدول ۶ و جدول ۷ نشان داده شده است. دامنه عملکرد دانه شبیه‌سازی شده از ۴۷۰۴ تا ۷۴۲ و عملکرد دانه اندازه‌گیری شده از ۴۸۷۰ تا ۲۵۰ بود (جدول ۶). در شکل ۲ میزان عملکرد دانه و بیوماس کل با خط یک‌به‌یک مقایسه شده است و در تیمارهای S3 و S4 میزان انحراف از خط یک‌به‌یک بیشتر است. مقدار ضریب تبیین در عملکرد دانه ۰/۸ و در بیوماس کل ۰/۷۸ می‌باشد. این موضوع به علت همبستگی پایین بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد. همان‌طور که در مورد سال اول ذکر شد، شاخص RMSEn طبق نتایج موجود در جدول ۶ و جدول ۷ در تیمارهای S3 و S4 در بیوماس کل و عملکرد دانه به ترتیب بین ۲۴-۴۲٪ و ۲۲-۴۸٪ بود. بیوماس کل شبیه‌سازی شده از ۱۰۰۰۸ تا ۱۵۷۹ و محدوده تغییرات بیوماس کل اندازه‌گیری شده از ۹۶۸۵ تا ۳۸۴۲ بود. مقدار R2 از ۰/۸۵ تا ۰/۶۱ و مقدار RMSEn از ۱۳٪ تا ۴۲٪ در شبیه‌سازی بیوماس کل افزایش یافت (جدول ۷). مدل عملکرد دانه را با

شاخص برداشت سبب تأثیر بر عملکرد دانه و بیوماس کل می-شود. مدل شاخص برداشت را مبنای محاسبه عملکرد در نظر گرفته است که این موضوع نیز سبب کاهش عملکرد مدل در تنش‌های بالا می‌باشد.

آستانه، کاهش محصول صفر است و پس از آن معادله افت عملکرد نسبی به ازای افزایش هر واحد شوری هدایت الکتریکی عصاره اشباع منطقه ریشه از نوع خطی درجه یک می‌باشد (اسدی و همکاران، ۱۳۸۸). از طرفی تأثیر شوری و کم‌آبی بر



شکل ۲- مقایسه مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در مرحله اعتباریابی: الف. عملکرد دانه، ب. بیوماس کل

جدول ۶- عملکرد دانه اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، خطا و پارامترهای آماری سال ۱۳۹۰

	S4=6 (dS/m)		S3=4 (dS/m)		S2=2 (dS/m)		S1=1(dS/m)					
	O	S	خطا %	O	S	خطا %	O	S				
غرقاب	۲۵۹۰	۲۱۲۴	-۱۱	۳۴۶۴	۳۰۹۶	-۴	۴۳۱۴	۴۱۵۶	-۳	۴۸۷۰	۴۷۰۴	RMSE
I1	۱۲۱۹	۱۸۵۰	-۸	۳۰۳۶	۲۷۹۰	-۹	۴۲۸۴	۳۹۰۹	۳	۴۴۱۷	۴۵۴۹	RMSEn
I2	۹۳۱	۱۷۵۸	۳۰	۲۰۳۹	۲۶۶۰	۳	۳۶۴۳	۳۷۴۳	۱۵	۳۸۵۸	۴۴۴۸	T test
I3	۸۷۲	۱۱۱۵	۳۴	۱۳۹۰	۱۸۵۸	-۱۳	۳۱۸۵	۲۷۷۰	-۲	۳۵۰۷	۳۴۴۱	R ²
I4	۲۵۰	۷۴۲	۶۶	۸۶۲	۱۴۲۹	۴۶	۱۵۰۰	۲۱۹۲	۸	۲۵۰۰	۲۷۰۰	
	۵۶۶			۴۷۴			۴۰۷			۲۹۶		
	۴۸			۲۲			۱۲			۸		
	-۰/۲۴			-۰/۳۶			-۰/۴۸			-۰/۴۱		
	-۰/۱۹			-۰/۴۲			-۰/۷۳			-۰/۸۸		

جدول ۷- بیوماس اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده، خطا و پارامترهای آماری سال ۱۳۹۰

	S4=6 (dS/m)		S3=4(dS/m)		S2=2(dS/m)		S1=1(dS/m)					
	O	S	خطا %	O	S	خطا %	O	S				
غرقاب	۶۰۲۸	۴۵۱۹	-۱۳	۷۵۹۴	۶۵۸۸	۲	۸۶۹۷	۸۸۴۲	۳	۹۶۸۵	۱۰۰۰۸	RMSE
I1	۶۰۸۴	۳۹۳۵	-۲۴	۷۸۳۱	۵۹۳۵	-۱۱	۹۳۲۴	۸۳۱۷	۱۴	۸۵۶۲	۹۷۷۵	RMSEn
I2	۵۷۹۲	۳۷۴۱	-۱۶	۶۷۷۳	۵۶۵۹	-۱	۸۰۴۴	۷۹۶۴	۲۳	۷۷۱۷	۹۴۶۴	T test
I3	۵۴۵۴	۲۳۷۳	-۳۳	۵۸۸۲	۳۹۵۴	۱۳	۶۷۷۹	۵۸۹۳	۴	۷۰۲۵	۷۳۲۲	R ²
I4	۳۸۴۲	۱۵۷۹	-۳۶	۴۷۵۹	۳۰۴۱	۱	۴۶۳۷	۴۶۶۴	-۳	۵۶۷۰	۵۴۷۷	
	۲۲۶۸			۱۵۸۲			۶۰۵			۹۷۵		
	۴۲			۲۴			۸			۱۳		
	-۰/۰۱			-۰/۰۶			-۰/۳۸			-۰/۲۸		
	-۰/۶۱			-۰/۸۳			-۰/۹۱			-۰/۸۵		

رهیافت ترویجی

نتایج ارزیابی مدل Aquacrop در این تحقیق نشان داد که مدل برای برآورد عملکرد برنج در شرایط توأم شوری و خشکی تا حد آستانه شوری کارایی مطلوبی دارد. در شوری کمتر از حد آستانه شوری برنج RMSEn در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس کل کمتر از ۱۵ درصد بود ولی قادر به احتساب تنش شوری و تنش توأم خشکی و شوری در شوری بالاتر از آستانه نبود. به عبارت دیگر تنش شوری از طریق افزایش فشار اسمزی سبب اعمال تنش به گیاه در تمام مراحل رشد شده و نبود آب کافی سبب کاهش سطح سایه‌انداز و بیوماس کل نیز گردیده است و دقت قابل قبول را ندارد. لذا مدل در شوری‌های کمتر از آستانه شوری گیاه قابل استفاده می‌باشد. به طور خلاصه هرکدام از تنش‌های شوری و خشکی با دقت‌های متفاوت سبب کاهش عملکرد مدل شدند. در نهایت بهبود مدل در زیرساخت‌های تنش آبی و شوری توصیه می‌شود.

مراجع

- اسدی، ر.، رضایی، م.، و امیری، ا. ۱۳۸۸. تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام اصلاح شده برنج. پژوهشنامه اصلاح گیاهان زراعی. ۳: ۲۴-۳۷.
- حیدری نیا، م.، ناصری، ع.، و برومند نسب، س. ۱۳۹۱. بررسی امکان کاربرد مدل AquaCrop در برنامه‌ریزی آبیاری آفتابگردان در اهواز. مجله مهندسی منابع آب. سال ۵: ۳۷-۵۰.
- علیزاده، ح. ع.؛ نظری، ب.؛ پارسی‌نژاد، م.؛ رضایی، ع.؛ و جنباز، ح. ر. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم‌آبیاری گندم در منطقه کرج. مجله آبیاری و زهکشی ایران، سال چهارم، ش ۲، ص ۲۸۳-۲۷۳.
- کاووسی، م. ۱۳۷۴. تعیین مدل مناسب پیش‌بینی عملکرد برنج در شوری‌های مختلف برای ارقام سپیدرود، حسن سرایی و خزر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز. ص ۹۰.
- Alemie, A., S. Habtu, K. M. Hadgu, A. Kebede and Dejene, T. 2010. Test of AquaCrop model in Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*) Agricultural Water Management, vol. 97, issue 11, 1838-1846.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration: Guidelines for Computing Crop Water Requirements. Irrig. Drain. Paper No.56, FAO, Rome, Italy, 300 pp.
- Araya, A. Keesstra, S. D. and Stroosnijder, L. 2010. Simulating yield response to water of
- Teff (*Eragrostis teff*) with FAO's AquaCrop model. Field Crop Research Journal, 116: 196-204.
- Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L. and Martinez, J. 2013. Aquacrop Model Calibration in Potato and its use to estimate yield variability under field condition. Atmospheric and Climate Sciences, 3: 397-407.
- Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. FAO Irrig. And Drain. Paper No. 33. PP. 193.
- Farahani, H. J. Izzi, G. and Oweis, T. Y. 2008. Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigation Cotton". Agron J, 101: 469-476.
- 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 Steduto, P. 2009. Simulating yield response of Quinoa to water availability with AquaCrop. Agronomy J, 101(3): 499-508.
- Kiani, R., Homaei, M. and Latifi, M. 2006. Evaluation of water yield decrease in simultaneous condition of salinity and water scarcity. Journal of water and soil science, 20(1): 73-83.
- Kijne, J. W. 2006. Abiotic stress and water scarcity: Identifying and resolving conflicts from plant level to global level. Field Crops Research, 97: 3-18.
- Kumar, P., Sarangi, A., Singh, D. K. and Parihar, S.S. 2014. evaluation of aquacrop model in predicting wheat yield and water PRODUCTIVITY UNDER IRRIGATED SALINE REGIMES. Irrigation and Drainage, 63(4): 474-487.
- Maas, E. V. and Hoffman, G. J. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. J. Irrig. and Drainage Div., ASCE, 103 (IR2): 115-134.
- Patel, N., Kumar, P. and Sign, N. 2008. Performance evaluation of AquaCrop in simulating Potato yield under varying water availability condition. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi-110012.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C. and Fereres, E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to predict yield response to water: II Main algorithms and soft ware description. Agronomy Journal, 101: 438-447.
- Rinaldy, M., Losavio, N. and Flagella, Z. 2003. Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. Agricultural systems, 78: 17-30.
- Steduto, P., T.C. Hsiao, D. Raes, and Fereres, E. 2009. AquaCrop. The FAO crop model to predict yield response to water. Agronomy Journal, 101: 426-437.

- Steduto, P., Hsiao, T. C., and Fereres, E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrig. Sci*, 25: 189-207.
- Todrovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abi Saab, M. T., Stockle, C. and Steduto, P. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST model in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy J*, 101(3): 509-521.
- Wamari, J. O., Isaya, S. V., kheng, L.M., Obutiata, E. A. 2012. Use of Aquacrop Model to predict Maize yield under varying rainfall and temprature in semi-arid environment in kenya. *Journal of Meteorology Rel. Sci.*, 6:23-32.

Performance of the Aquacrop Model under Deficit and Saline Irrigation Management of Rice

E. Amiri^{1*}, M. Rezaei² and F. Shirshahi³

Abstract

This study conducted in order to assess accurate of Aquacrop Model in yield grain and Biomass simulation under rice (Hasham cultivar) deficit and saline irrigation management conditions in Rasht Rice Research Institute of Iran, during two year from 2009-2011. This experiment was conducted in form of factorial randomized complete block design with 3 replications. Treatments consisted of 4 levels of salinity as follows: S1, tap water with salinity less than 1 dS m, S2, S3, S4, respectively salinity of 2, 4, 6 dS m and five irrigation methods include I0: Irrigation continuous, I1, I2, I3, I4, respectively, in water saturation (AWD), irrigation at field capacity (FC), irrigation water content of 100, 90 and 80% of field capacity. AquaCrop model was evaluated for rice under deficit and salinity stress. Measured data of first and second year were used to calibrate and validate respectively. the root mean square error (RMSE), normalized root mean square error (RMSEn), the percentage relative error and test (T-test) was used in order to comparing simulation results with measured data. Grain yield was simulated with lower the threshold 0.85 and 9% to 0.43 and 33% in the model simulation results show that Model has acceptable performance in salinities less than the threshold salinity.

Keywords: Rice, Rasht, Aquacrop Model, Salinity Management.

¹ Department of Water Engineering, Lahijan branch, Islamic Azad University, Iran. (*Corresponding author, eamiri57@yahoo.com)

² Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran.

³ Ph. D. Candidate, Young Researchers and Elite Club, Arak Branch, Islamic Azad University, Arak, Iran.

Received: 29 May 2019

Accepted: 6 Sep 2019