Archive of SID

ارزیابی عملکرد نیشکر تحت‌تاثیر سطوح آبیاری و کود با استفاده از مدل Aquacrop

فرزاد حق نظری[۱]، مهشید قنبریان[۲*]، علی شینی‌دشتگل[۳]، ویدا ورناصری قندعلی[۴]

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
۲- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران
۳- دانشجوی دکتری، آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۴- دانشجوی دکتری بوم شناسی زراعی، دانشگاه زابل، زابل، ایران
* مسئول مکاتبه: Mahshid.ghanbarian@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۵ **DOI: 10.22034/csrar.2020.119085**

چکیده

ارتقای کارایی مصرف آب با هدف تولید بیشتر در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ لذا شبیه‌سازی مراحل رشد گیاه و در نتیجه پیش‌بینی عملکرد محصول، منجر به برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت کاراتر در روند تولید می‌شود. پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی عملکرد و زیست‌توده نیشکر در مرحله بازرویی در سال سوم کاشت، با مدل AquaCrop در کشت و صنعت امیرکبیر با سه سطح آبیاری کامل یا ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_1)، ۷۵ درصد (I_2) و ۵۵ درصد نیاز آبی (I_3) و سه سطح کود ۱۰۰ درصد نیاز گیاه نیشکر به کود نیتروژن (F_1)، ۸۰ درصد (F_2) و ۶۰ درصد (F_3) با چهار تکرار در سال ۱۳۹۰-۱۳۸۹ انجام شد. برای واسنجی مدل مقادیر واسنجی به همراه پیش‌بینی خطای آماری R^2 برای عملکرد محصول و زیست‌توده برای تمام سطوح مختلف کودی و آبیاری به‌ترتیب برابر با ۰/۹۷ و ۰/۹۶ به دست آمد. در مرحله صحت‌سنجی، عملکرد محصول در شرایط مختلف مدیریت آبیاری شبیه‌سازی و با عملکرد واقعی مقایسه شد و مقادیر ضریب همبستگی برای عملکرد محصول و زیست‌توده به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۱ برآورد شد. با بررسی تیمارها مشخص شد که تیمار F_2I_1 نسبت به دیگر تیمارها، عملکرد زیست‌توده بالاتری داشت. نتایج نشان داد که با کاهش ۲۰ درصدی در مصرف کود می‌توان به عملکرد موردنظر دست یافت. این امر کاهش هزینه‌های مربوط به کشاورزی را به همراه خواهد داشت و در بلندمدت اثرات سوء ناشی از مصرف بیش از حد کودهای شیمیایی را کاهش داده و ضمن افزایش محصول، برنامه‌ای راهبردی برای نیل به اهداف کشاورزی پایدار خواهد بود.

کلمات کلیدی: آنالیز حساسیت، زیست‌توده، صحت‌سنجی، واسنجی

مقدمه

ارتقای کارایی مصرف آب با هدف تولید بیشتر در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این راستا شبیه‌سازی مراحل رشد گیاه و در نتیجه پیش‌بینی عملکرد محصول، منجر به برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت کاراتر در روند تولید محصول خواهد شد. با توجه به اینکه پارامترهای مؤثر بر عملکرد محصولات کشاورزی متعدد است و گاهی این عوامل اثر متقابلی بر یکدیگر دارند؛ استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی عملکرد، گامی اساسی و درست در جهت مدیریت زراعی می‌باشد. در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی جهت شبیه‌سازی رشد محصولات زراعی و مدیریت آب خاک ارائه شده است(Geerts *et al*., 2009; Hoogenboom *et al*., 2004) .

در سالیان اخیر FAO[12] مدل شبیه‌سازی Aquacrop را برپایه معادله Doorenbos and Kassam همراه با تصحیحاتی برای آن ارائه داد (Doorenbos and Kassam, 1979) که مقیاس محاسبات در آن بر اساس گام روزانه می‌باشد (Steduto *et al*., 2009). در مدل جدید سعی بر آن است که ضمن استفاده از تعداد نسبتاً اندکی از پارامترهای معین (که به‌طور مستقیم قابل اندازه‌گیری هستند) نتایج با دقت بالا برآورد گردد (Geerts *et al*., 2009).

نتایج پژوهشی روی آنالیز حساسیت مدل Aquacrop تحت شرایط مختلف هواشناسی و کاربردی، نشان داد که حساسیت داده‌های خروجی، در پاسخ به تغییر پارامترهای مربوط به محصول، مانند واریته و نیز متغیرهای اقلیمی، متفاوت است (Xiuliang *et al*., 2018). نتایج واسنجی آنالیز حساسیت مدل Aquacrop نشان می‌دهد که هماهنگی خوبی بین نتایج مشاهده شده و شبیه‌سازی شده پارامترهای سطح سایه‌انداز، زیست‌توده و عملکرد محصول وجود دارد.

نتایج مطالعه‌ای روی شبیه‌سازی عملکرد محصول سیب‌زمینی (Solanum tuberosum) و کل ماده خشک، سطح سایه‌انداز گیاه،

[1] Food and Agriculture Organization

www.SID.ir

Archive of SID

تولید ماده خشک در فصل رشد محصول سیب‌زمینی و محتوای آب خاک در شرایط مختلف تنش آبی با استفاده از مدل Aquacrop در شرایط آب‌وهوایی معتدل روی سه سطح آبیاری شامل آبیاری کامل (آبیاری)، کم آبیاری (I_d) و بدون آبیاری (I_0) نشان‌دهنده دقت خوب مدل Aquacrop برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد محصول سیب‌زمینی در شرایط نرمال به‌عنوان یک ابزار مدیریتی کارآمد در مورد زمان و میزان آبیاری است (Razzaghi *et al*., 2017).

طی پژوهشی که به‌منظور بررسی عملکرد مدل Aquacrop برای گندم (Triticum) زمستانه‌ی تحت کم آبیاری، در مزارع آزمایشی ایستگاه Luancheng در دشت شمالی چین طی سال‌های ۱۹۹۸ - ۲۰۰۱ انجام گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که مدل Aquacrop در مرحله اعتبارسنجی ریشهٔ میانگین مربعات خطا برای عملکرد دانه ۰/۵۸ تن در هکتار، زیست‌توده ۰/۸۷ تن در هکتار، تبخیر و تعرق واقعی ۳۳/۲ میلی‌متر و رطوبت حجمی خاک ۳۷/۶ - ۲۴/۵ میلی‌متر بود. نتایج نشان داد که مدل Aquacrop مدلی اطمینان‌بخش برای شبیه‌سازی تولید عملکرد در دشت شمالی چین است (Iqbal *et al*., 2014). مدل Aquacrop در شبیه‌سازی عملکرد گیاهان در مدیریت مختلف آب‌وخاک از دقت بالایی برخوردار بوده و استفاده از آن نیازمند واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد. در تحقیق انجام شده در راستای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم در سه پایلوت منتخب در منطقه حمیدیه استان خوزستان و در دو سال زراعی اجرا شد (Emdad et al., 2018)؛ مدل برای شرایط سال اول واسنجی و سپس سناریوهای مختلف نوبت‌های آبیاری با هم مورد مقایسه قرار گرفت. مقایسه شاخص‌های آماری بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی عملکرد دانه در هر دو سال نشان داد که ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص توافق Willmott به ترتیب برابر با ۰/۹، ۰/۱۴ و ۰/۸۹ می‌باشند که بیانگر کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی عملکرد گندم در دو سال متوالی می‌باشد.

با توجه به سطح زیر کشت گیاه نیشکر در استان خوزستان و اهمیت این محصول در منطقه و همین‌طور اهمیت ویژه عملکرد محصول و پیش‌بینی آن به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح و مدیریت مؤثر منابع آب و توجه به مسائل زیست‌محیطی که در اثر استفاده از کودهای شیمیایی به وجود می‌آید؛ در این پژوهش، مدل Aquacrop به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد نیشکر در شرایط کم‌آبیاری و با به‌کارگیری سطوح مختلف کودی در منطقه جنوب اهواز استفاده گردید. در این راستا، ابتدا مدل مورد واسنجی و صحت‌سنجی قرار گرفت. پس از بررسی نتایج، عملکرد محصول و زیست‌توده گیاه نیشکر، با به‌کارگیری سطوح مختلف آبیاری و کودی شبیه‌سازی شد. هدف از این مطالعه، بهره‌گیری از نرم‌افزار Aquacrop جهت تعیین سطوح بهینه کم‌آبیاری و کودی برای گیاه نیشکر در منطقه جنوب اهواز می‌باشد. در نهایت از نتایج این تحقیق می‌توان در تصمیمات مدیریتی همچون میزان کاربرد کود و آب آبیاری در مزرعه برای شرایط مشابه استفاده نمود.

مواد و روش‌ها

مشخصات منطقه‌ی مورد آزمایش

این پژوهش، در یکی از مزارع تحقیقاتی شرکت توسعه نیشکر واقع در جنوب اهواز در کشت و صنعت امیرکبیر و طی دو سال زراعی ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ انجام شد. این مرکز در محدوده‌ی مختصاتی با طول جغرافیائی ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۰ دقیقه و عرض جغرافیائی ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۰ دقیقه واقع شده است. منطقه‌ی محل اجرای پژوهش در تقسیم‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه جزء اقلیم بیابانی گرم میانه می‌باشد. آب آبیاری مزارع کشت و صنعت امیرکبیر از رودخانه کارون تأمین شده و شوری آن در طول فصل کشت تغییر می‌کند. ویژگی‌های کیفی آب آبیاری در محل ایستگاه پمپاژ اصلی در جدول ۱، ارائه شده است (گزارش ماهیانه مرکز تحقیقات نیشکر، ۱۳۹۰). فاصله زمانی بین آبیاری‌ها (دور آبیاری) مطابق آبیاری معمول مزارع در کشت و صنعت نیشکر امیرکبیر صورت گرفت و تیمارهای آبیاری بر حجم آبیاری به کار برده شده در مزارع اعمال شد.

جدول ۱- خصوصیات کیفی آب رودخانه کارون
Table 1- Water quality of Karun River

کاتیون‌ها ($meq.l^{-1}$) Cations			آنیون‌ها ($meq.l^{-1}$) Anions			EC (ds/m)	SAR	pH
Ca^{++}	Mg^{++}	Na^{+}	Cl^{-}	Hco_3^{-}	So_4^{-}			
17.28	22.5	52.4	57	5.2	28.26	1.8	11.8	7.49

جدول ۲ میزان آب آبیاری در ماه‌های مختلف سال در کشت و صنعت امیرکبیر را نشان می‌دهد. اجزای اصلی سیستم آبیاری در این واحد عبارتند از: یک واحد ایستگاه پمپاژ اصلی، یک رشته کانال انتقال، دو رشته کانال درجه‌یک (اصلی)، ایستگاه‌های پمپاژ ثانویه، خطوط لوله آبیاری درجه‌دو، آبگیرهای مزارع و بالاخره لوله‌های آبیاری دریچه‌دار. شبکه آبیاری به‌صورت ترکیبی از دو شیوه ثقلی و تحت‌فشار طرح گردیده است که در آن ایستگاه پمپاژ اصلی، آب موردنیاز طرح را از رودخانه کارون تأمین می‌کند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲- میزان آب آبیاری
Table 2- Amount of Irrigation water

ماه Month	فروردین 21 Mar- 20 Apr	اردیبهشت 21 Apr- 21 May	خرداد 22 May- 21 Jun	تیر 22 Jun- 22 Jul	مرداد 23 Jul- 22 Aug	شهریور 23 Aug- 22 Sep
میزان آب آبیاری Amount of Irrigation water (mm)	120	300	300	480	600	360

در مطالعات خاکشناسی، عموماً نمونه‌برداری از خاک در گام‌های ۳۰ سانتی‌متری صورت می‌گیرد. نمونه‌گیری از خاک منطقه، در سه عمق ۳۳-۰، ۶۶-۳۳ و ۱۰۰-۶۶ سانتی‌متری نشان داد که بافت خاک منطقه مورد آزمایش، Clay Loam بوده و دارای ۴۴/۹۵ درصد شن، ۳۱/۳۲ درصد رس و ۲۳/۷۳ درصد سیلت می‌باشد. برای تعیین ظرفیت ذخیره آب در خاک، درصد رطوبت خاک به‌صورت وزنی در سه عمق ۳۳-۰، ۶۶-۳۳ و ۱۰۰-۶۶ سانتی‌متری، قبل از هر آبیاری اندازه‌گیری گردید و باتوجه‌به جرم مخصوص ظاهری خاک، ظرفیت ذخیره آب در خاک برای نوبت‌های آبیاری اول تا چهارم برآورد شد. مشخصات فیزیکی خاک در جدول ۳، ارائه شده است.

جدول ۳- برخی خصوصیات فیزیکی خاک قبل از آبیاری
Table 3- Some preliminary soil characteristics before irrigation

عمق Depth (cm)	جرم مخصوص ظاهری Bulk density ($gr.\ cm^{-3}$)	درصد رطوبت خاک در ظرفیت زراعی FC (% Vol)	درصد رطوبت خاک در نقطه پژمردگی PWP (% Vol)	درصد رطوبت خاک حدفاصل ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی FC- PWP (% Vol)
0-33	1.61	35.58	18.48	17.1
33-66	1.5	25.36	13.55	11.76
66-100	1.54	23.97	9.76	14.21

این پژوهش در قالب طرح آزمایشی کرت‌های خرد شده به‌صورت فاکتوریل انجام گرفت و سه سطح آبیاری کامل یا ۱۰۰ درصد نیاز آبی برای گیاه نیشکر در شرایط منطقه موردمطالعه (I_1)، ۷۵ درصد (I_2) و ۵۵ درصد (I_3) آب آبیاری و سه سطح کود ۱۰۰ درصد (F_1)، ۸۰ درصد (F_2) و ۶۰ درصد (F_3) با چهار تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت. میزان کود مورداستفاده بر اساس مصرف واحدهای توسعه‌ی نیشکر که معمولاً ۳۵۰ کیلوگرم کود اوره در هر هکتار به منزلهٔ ۱۰۰ درصد نیاز کودی در نظر گرفته می‌شود. هر تیمار در یک جویچه به طول ۲۵۰ متر و عرض ۱/۸۳ متر قرار گرفت. تعداد کل جویچه‌های تحت آزمایش در این تحقیق ۳۶ جویچه بود.

مدل شبیه‌سازی عملکرد محصول Aquacrop

مدل Aquacrop ابزاری مفید جهت مدیریت آب در سطح مزرعه و پیش‌بینی عملکرد عمده‌ی محصولات زراعی بر اساس سناریوهای مختلف می‌باشد. این مدل با تفکیک نمودن تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ET_a) به تبخیر از سطح خاک (ET_s) و تعرق (T_a) و مجزا نمودن عملکرد نهایی (Y) به ماده خشک و شاخص برداشت توسعه‌یافته است. جدا کردن ET_a به ET_s و T_a سبب می‌شود که بخش غیرمؤثر آب در تولید محصول (تبخیر) در نظر گرفته نشود. این موضوع به‌ویژه زمانی‌که هنوز پوشش گیاهی تکمیل نشده، حایز اهمیت است (Raes *et al*., 2009).

$$\left(\frac{Y_m-Y_a}{Y_m}\right)=K_y\left(\frac{ET_m-ET_a}{ET_m}\right) \quad (۱)$$

در این رابطه، Y_m و Y_a به ترتیب عملکرد حداکثر و واقعی محصول، ET_m و ET_a به ترتیب تبخیر و تعرق حداکثر و واقعی گیاه و K_y ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی در تبخیر و تعرق است. میزان عملکرد از ضرب کردن زیست‌توده در شاخص برداشت مرجع به دست می‌آید و مقادیر شاخص برداشت مرجع با توجه به میزان آب موجود وابسته به زمان، شدت و مدت تنش خشکی است (Jones, 2000). برای محاسبه عملکرد از زیست‌توده، مدل Aquacrop از رابطه زیر استفاده می‌کند (Golabi and Naseri, 2015; Raes *et al*., 2012):

$$Y=f_{HI}\times HI_0\times B \quad (۲)$$

در این رابطه، HI_0 شاخص برداشت مرجع طی مرحله بلوغ فیزیولوژیک که بلوغ فیزیولوژیکی مرحله‌ای از رشد و نمو نیشکر است که طی آن گیاه تحت‌تأثیر عوامل محیطی و شرایط رشد، اندام‌های زاینده تولید کرده و به گل رفته و دانه تولید می‌کند. Y، عملکرد دانه و f_{HI} ضریبی است که شاخص برداشت مرجع را تنظیم می‌کند. داده‌های ورودی مدل به چهار دسته تقسیم می‌شوند: داده‌های هواشناسی (شامل دمای کمینه و بیشینه، بارش و تبخیر تعرق)، داده‌های گیاهی (داده‌های تبخیر تعرق، پوشش گیاهی، تنش آبی، تنش خشکی و...)، داده‌های خاک

www.SID.ir

Archive of SID

(خصوصیات هیدرولیکی و فیزیکی لایه‌های خاک) و داده‌های مدیریتی (مدیریت آبیاری شامل زمان، مقدار و شیوه آبیاری و مدیریت مزرعه مانند استفاده از خاک‌پوش و...).

واسنجی و صحت‌سنجی مدل

از داده‌های سال ۱۳۸۹ برای واسنجی مدل گیاهی استفاده شد. پس از پردازش اولیه داده‌ها، به بررسی شبیه‌سازی مقدار عملکرد و زیست‌توده گیاه نیشکر، تحت تیمارهای مختلف آبیاری پرداخته شد. تیمارها شامل سه سطح I_1، I_2 و I_3 به ترتیب ۱۰۰، ۷۵ و ۵۵ درصد موردنیاز گیاه می‌باشند. مقادیر آب آبیاری و میزان کود مورداستفاده گیاه، مقادیری هستند که در مرکز تحقیقات شرکت کشت و صنعت امیرکبیر، محاسبه شده و با توجه به دوره رشد گیاه و شرایط محیطی اعمال می‌گردند.

میزان آب آبیاری بکار برده شده بستگی به نیاز آبی گیاه در دوره رشد و مقدار آب لازم جهت کنترل شوری دارد. چرا که گیاه نیشکر به شوری حساس است و این حساسیت در دوره‌های مختلف رشد متفاوت است. میزان نیاز آبی گیاه نیشکر، در طی سال‌ها پژوهش و تجربه و طی تحقیقاتی که در منطقه صورت‌گرفته است؛ به دست آمده که این میزان در دوره‌های مختلف رشد گیاه نیشکر، متفاوت است. از سویی دیگر، منبع تأمین‌کننده آب اراضی کشت و صنعت امیرکبیر، همان‌طور که پیش‌ازاین اشاره شد؛ رود کارون است که میزان کیفیت آن به دلیل شرایط آب‌وهوایی و بارندگی‌ها در فصول و در سال‌های مختلف، متفاوت است؛ بنابراین میزان آبیاری کامل برآورد شده در این پژوهش که تأمین‌کننده ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه نیشکر باشد؛ معادل دور و میزان آبی در نظر گرفته شد که کارشناسان این مرکز برای کشت راتون نیشکر در بازه زمانی یاد شده؛ تعیین نموده‌اند (جدول ۲). بدیهی است با توجه به شرایط آب‌وهوایی و میزان بارندگی و پارامترهای کیفی آب آبیاری که در طول فصل رشد متغیر می‌باشند؛ میزان عمق و دور آبیاری نیز در هر مرحله متفاوت خواهد بود.

به‌منظور صحت‌سنجی مدل، با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری شده، عملکرد محصول در شرایط مختلف مدیریت آبیاری شبیه‌سازی و با عملکرد واقعی مقایسه شد. داده‌های سال ۱۳۹۰ به‌منظور صحت‌سنجی مدل استفاده گردید.

شاخص‌های ارزیابی مدل

برای ارزیابی و سنجش اعتبار مدل در تخمین عملکرد محصول، از شاخص آماری زیر استفاده گردید:

(۳) جذر میانگین مربعات خطا: $$RMSE=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-M_i)^2}{n}}$$

(۴) شاخص توافق ویلموت (d): $$d=1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i-M_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|S_i-\bar{M}|+|M_i-\bar{M}|)^2}$$

(۵) ضریب تبیین (R^2): $$R^2=\frac{[\sum_{i=1}^{n}(M_i-\bar{M})(S_i-\bar{S})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(M_i-\bar{M})^2\sum_{i=1}^{n}(S_i-\bar{S})^2}$$

که در این روابط، S_i و M_i به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده، n تعداد مشاهدات، $\bar{S}$ مقدار متوسط پارامترهای مشاهده شده، $\bar{M}$: مقدار متوسط پارامترهای پیش‌بینی شده می‌باشد.

هرچه جذر میانگین مربعات خطا به صفر نزدیک‌تر و ضریب تبیین و شاخص توافق ویلموت به عدد یک نزدیک‌تر باشند؛ درصد دقت مدل بالاتر است (Dinarvand *et al*., 2018).

نتایج و بحث

آنالیز حساسیت و واسنجی مدل Aquacrop

برای انجام آنالیز حساسیت در هر نوبت، یکی از پارامترهای ورودی به میزان ۲۵ درصد (در جهت مثبت و منفی) تغییر داده شد و مدل برای هریک از پارامترها پنج بار اجرا گردید. بعد از هر بار اجرای مدل مقدار ضریب حساسیت محاسبه گردید. بسته به مقدار ضریب حساسیت محاسبه شده پارامترها در سه دسته با حساسیت زیاد، متوسط و کم، تقسیم‌بندی شدند، به‌طوری‌که اگر مقادیر دامنه ضریب حساسیت از ۱/۵ بیش‌تر باشد حساسیت زیاد و اگر پاسخ مدل به تغییر در پارامتر ورودی، بین ۰/۳ تا ۱/۵ و یا کمتر از ۰/۳ باشد، به ترتیب نشان دهنده حساسیت متوسط و کم می‌باشد (Hosseini *et al*. 2016; Geerts *et al*., 2009).

$$S_C=\frac{\frac{\Delta w}{\bar{w}}}{\frac{\Delta P}{\bar{P}}} \qquad (۶)$$

که در این رابطه، S_C ضریب بدون بعد، Δw اختلاف مقدار پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، $\bar{w}$ متوسط پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، ΔP اختلاف مقادیر پارامتر ورودی و $\bar{P}$ متوسط مقادیر ورودی یک پارامتر به مدل می‌باشد.

بعد از انجام آنالیز حساسیت مشخص شد که پارامترهای حساس در پژوهش حاضر عبارت‌اند از: پوشش سایه‌انداز اولیه در زمان تکمیل ۹۰ درصد سبزشدن (CC_0)، حداکثر پوشش گیاهی (CC_X)، فاکتور شکل ضریب تنش آبی خاک برای توسعه پوشش گیاهی، آستانهٔ بالای تخلیهٔ رطوبتی خاک برای ضریب تنش پیری و فاکتور شکل منحنی برای ضریب تنش پیری.

با مشخص‌شدن پارامترهای حساس، جهت شبیه‌سازی عملکرد محصول، مدل برای شرایط مختلف مزرعه آزمایشی و بر پایه پارامترهای حساس اجرا شده و نتایج شبیه‌سازی با نتایج واقعی مقایسه شدند. در صورت عدم تطابق عملکرد شبیه‌سازی شده با عملکرد واقعی، با تغییر ضرایب گیاهی، مراحل فوق‌الذکر تکرار شد تا نتایج عملکرد شبیه‌سازی شده با دقت قابل قبولی بر عملکرد واقعی منطبق شود. مقادیر حاصل از واسنجی مدل Aquacrop در جدول ۴، نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۴- نتایج حاصل از آنالیز حساسیت و واسنجی پارامترهای موجود در مدل Aquacrop

Table 4- The results of the sensitivity analysis and calibration of the parameters in the Aquacrop model

پارامتر گیاهی Crop Parameter	S_c در حالت ۲۵٪+ S_c In mode+ 25٪	S_c در حالت ۲۵٪- S_c In mode -25٪	درجه حساسیت Degree of sensitivity	مقدار amount	واحد unit	روش تعیین Determination method
دمای پایهٔ T_{base}	0.035	0.004	کم low	9	°C	پیش فرض Assumption
Base temperature						
دمای حداکثر T_{upper}	0.09	0.2	کم low	32	°C	پیش فرض Assumption
Maximum temperature						
پوشش سایه‌انداز اولیه در زمان تکمیل ۹۰ درصد سبزشدن CC_o	0.542	1.615	زیاد high	7.1	cm^2	واسنجی Calibration
Initial canopy cover at 90 % emergence						
حداکثر پوشش گیاهی CC_x	1.842	0.735	زیاد high	85	٪	واسنجی Calibration
Maximum canopy cover when the canopy is fully developed						
تاج پوشش گیاهی در زمان بیری CDC	0.432	0.213	متوسط average	0.076	day^{-1} ٪	پیش فرض Assumption
Canopy decline coefficient						
ضریب افزایش سایه‌انداز CGC	0.468	1.02	متوسط average	0.125	day^{-1} ٪	پیش فرض Assumption
Canopy Growth Coefficient						
ضریب تعرق گیاهی برای پوشش کامل $KcTr_x$	0.025	0.003	کم low	1.1	-	پیش فرض Assumption
Coefficient for maximum crop transpiration						
بهره‌وری آب نرمال شده WP	0.089	0.271	کم low	30	$gr.cm^{-2}$	پیش فرض Assumption
Normalized crop water productivity						
حد بالای تخلیهٔ رطوبتی خاک برای توسعه پوشش گیاهی P_{upper}	1.22	0.735	متوسط average	0.55	-	پیش فرض Assumption
Fraction of TAW at which CGC starts to be reduced						
حد پایین تخلیهٔ رطوبتی خاک برای توسعه پوشش گیاهی P_{lower}	0.12	0.03	کم low	0.25	-	پیش فرض Assumption
Fraction of TAW at which CGC becomes 0						
فاکتور شکل ضریب تنش آبی خاک برای توسعه پوشش گیاهی	0.428	1.745	زیاد high	2.5	-	واسنجی Calibration
Shape factor for Water stress coefficient for canopy expansion						
آستانهٔ بالای ضریب تخلیهٔ رطوبتی خاک برای کنترل روزنه‌ها	0.003	0.008	کم low	0.5	-	پیش فرض Assumption
Soil water depletion threshold for stomatal control - Upper threshold						
فاکتور شکل ضریب تنش آبی خاک برای کنترل روزنه‌ها	0.031	0.025	کم low	3	-	پیش فرض Assumption
Shape factor for Water stress coefficient for stomatal control						
آستانهٔ بالای تخلیهٔ رطوبتی خاک برای ضریب تنش پیری	1.215	1.632	زیاد high	2.5	-	واسنجی Calibration
Soil water depletion threshold for canopy senescence - Upper threshold						
فاکتور شکل منحنی برای ضریب تنش پیری	1.578	1.012	زیاد high	25	-	واسنجی Calibration
Shape factor for CDC						
شاخص برداشت HI	0.712	1.815	زیاد high	35	٪	واسنجی Calibration
Harvest Index						

www.SID.ir

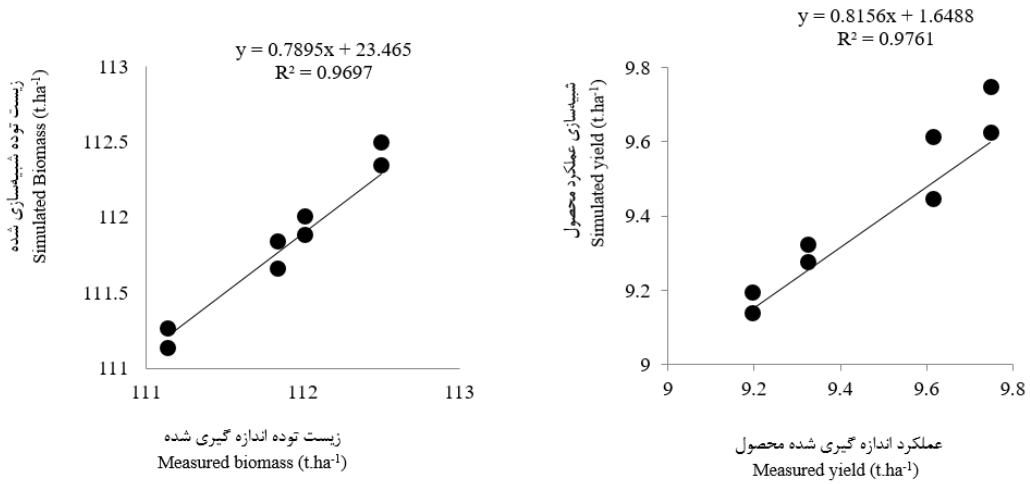
Archive of SID

در شرایط آبیاری معمول (۱۰۰درصد) با کاهش مقدار کود به میزان ۸۰ درصد (F_2) میزان زیست‌توده و عملکرد محصول بالاترین مقدار را دارا می‌باشند. با توجه به جدول ۵، مشاهده می‌گردد که میزان خطا در تمامی سطوح مختلف کم‌آبیاری و کودی کمتر از ۲۰ درصد است. با توجه به جدول ۵، حداقل و حداکثر خطای پیش‌بینی خطای عملکرد مربوط به F_2I_2 و F_3I_2 به ترتیب برابر با ۰/۰۳۲ و ۱/۳۷۵ برآورد گردید. به طور مشابه، حداقل و حداکثر خطای پیش‌بینی برای زیست‌توده مربوط به تیمارهای F_3I_2 و F_3I_1 به ترتیب ۰/۰۱۲ و ۰/۲۱۷ به دست آمد. در جدول ۵، نتایج واسنجی مقادیر زیست‌توده و عملکرد محصول واقعی و شبیه‌سازی شده تحت تیمارهای مختلف کم آبیاری و سطوح کودی برای سال زراعی ۱۳۸۹ ارائه شده است. با توجه به شکل ۱، مقادیر واسنجی مدل به همراه پیش‌بینی خطای آماری R^2 برای عملکرد محصول و زیست‌توده برای تمامی تیمارهای مختلف کم آبیاری و سطوح کودی به ترتیب برابر با ۰/۹۷ و ۰/۹۶ به‌دست آمد.

جدول ۵- نتایج واسنجی مقادیر واقعی و شبیه‌سازی‌شده زیست‌توده و عملکرد محصول تحت تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و سطوح کودی برای سال زراعی (۱۳۸۹)

Table 5- Calibration results of actual and simulated biomass values and product yield under different irrigation treatments and fertilizer levels (2010)

تیمارها Treatments		زیست‌توده Biomass (t. ha^{-1})			عملکرد Yield (t. ha^{-1})		
سطح آبیاری Irrigation level	سطح کود Fertilizer level	مشاهده شده Observational	شبیه‌سازی Simulated	خطا Error %	مشاهده شده Observational	شبیه‌سازی Simulated	خطا Error %
	F_1	134.225	133.98	-0.18	11.34	11.24	-0.88
I_1	F_2	156.723	156.468	-0.205	12.13	12.09	-0.33
	F_3	124.141	123.873	-0.217	9.471	9.373	-1.046
	F_1	128.135	128.169	0.026	10.141	10.096	-0.445
I_2	F_2	142.085	141.833	-0.178	11.073	11.038	-0.032
	F_3	118.245	118.103	-0.012	8.553	8.438	-1.357
	F_1	107.132	107.09	0.04	5.218	5.154	-1.241
I_3	F_2	111.873	111.793	-0.072	6.315	6.238	-1.238
	F_3	99.0575	98.97	-0.088	4.286	4.245	-0.966



شکل ۱- نتایج واسنجی مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصول و زیست‌توده، تحت تیمارهای مختلف آبیاری و سطوح کودی

Figure 1- Calibration results of model in simulation of yield and biomass under different irrigation treatments and fertilizer levels

صحت‌سنجی مدل Aquacrop

به منظور صحت‌سنجی مدل برای شبیه‌سازی عملکرد محصول و میزان زیست‌توده و همچنین مقایسه آنها با مقادیر واقعی از اطلاعات مربوط به سال زراعی ۱۳۹۰ استفاده گردید. در جدول ۶، نتایج مربوط به شبیه‌سازی تحت تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و سطح کودی ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول ۶، مشاهده گردید که درصد خطای پیش‌بینی صحت‌سنجی مدل به منظور شبیه‌سازی مقادیر زیست‌توده و عملکرد محصول در کل تیمارها کمتر از ۲۲ درصد است. طبق نتایج، حداقل و حداکثر خطای پیش‌بینی عملکرد محصول F_2I_1 و F_2I_3 به ترتیب برابر با ۳/۶۵ و ۱۳/۰۲ درصد به‌دست آمد. به طور مشابه، حداقل و حداکثر خطای پیش‌بینی برای زیست‌توده در تیمارهای F_2I_2 و F_3I_1 به ترتیب برابر ۰/۴۲۳ و ۱/۲۲ درصد به‌دست آمد. در تمام تیمارهای کم آبیاری و سطح کودی بیشترین عملکرد محصول و بیشترین میزان

www.SID.ir

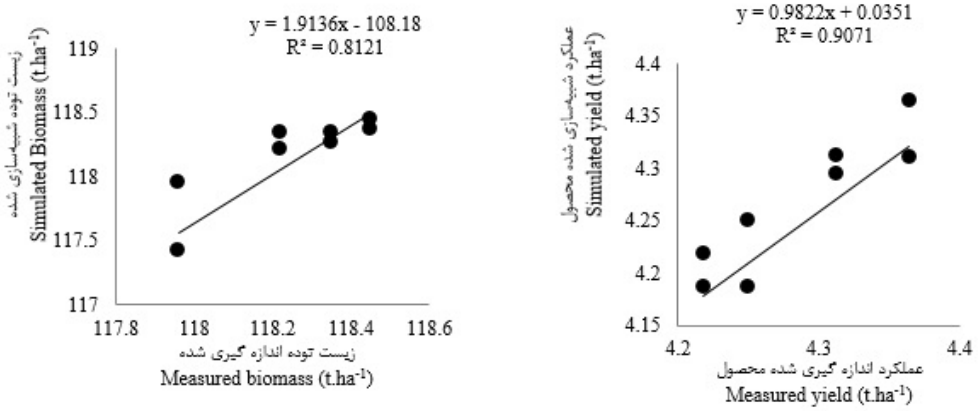
Archive of SID

زیست‌توده تولیدی مربوط به تیمار F_2I_1 بود. بالا بودن میزان عملکرد و مقدار زیست‌توده در این تیمار مبین این نکته است که افزایش مقدار نیتروژن نمی‌تواند آثار مضر مصرف نیتروژن را جبران کند، نتایج دیگر تحقیقات (Koochakzadeh *et al*., 2013; Thorburn, 2004) نشان داد که افزایش میزان کود تا حدی موجب افزایش عملکرد محصول خواهد شد و بعداز آن عملکرد ثابت خواهد ماند. در شکل ۲، مقادیر صحت‌سنجی مدل به همراه پیش‌بینی خطای آماری R^2 برای عملکرد دانه و زیست‌توده برای تمامی تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و سطوح کودی ارایه شده است. مقدار ضریب همبستگی برای عملکرد محصول و زیست‌توده به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۱ به دست آمد

جدول ۶- نتایج صحت‌سنجی مقادیر زیست‌توده و عملکرد محصول واقعی و شبیه‌سازی شده تحت تیمارهای مختلف آبیاری و سطوح کودی برای سال زراعی (۱۳۹۰)

Table 6- Validation results of simulated and actual values of biomass and yield under different irrigation treatments and fertilizer levels (2011)

تیمارها Treatments		زیست‌توده Biomass (t. ha^{-1})			عملکرد Yield (t. ha^{-1})		
سطح آبیاری Irrigation level	سطح کود Fertilizer level	مشاهده شده Observational	شبیه‌سازی Simulated	خطا Error %	مشاهده شده Observational	شبیه‌سازی Simulated	خطا Error %
I_1	F_1	135.186	135.425	0.176	11.623	11.186	-3.91
	F_2	155.814	154.216	-1.036	11.876	12.325	3.65
	F_3	124.269	123.012	-1.22	9.815	9.124	-7.57
I_2	F_1	128.368	129.135	0.63	10.785	11.227	3.94
	F_2	142.112	142.715	0.423	11.412	10.895	-4.75
	F_3	118.086	118.678	0.499	9.769	9.115	-7.17
I_3	F_1	107.522	108.19	0.617	5.613	5.835	3.8
	F_2	112.012	111.438	-0.515	6.012	6.912	13.02
	F_3	99.145	100.02	0.875	4.723	5.012	5.77



شکل ۲- نتایج صحت‌سنجی مدل در شبیه‌سازی عملکرد محصول و زیست‌توده، تحت تیمارهای مختلف آبیاری و سطوح کودی

Figure 2- Model validation results in simulation of yield and biomass under different irrigation treatments and fertilizer levels

شاخص‌های آماری

تجزیه‌وتحلیل مربوط به شاخص‌های آماری برای میانگین دو سال داده‌ها در جدول ۷، ارائه شده است. مقدار شاخص سازگاری ویلموت (d) نزدیک به عدد یک است که نشان می‌دهد که مقادیر شبیه‌سازی‌شدهٔ زیست‌توده و عملکرد محصول در مدل با مقادیر واقعی آنها سازگاری دارد. همچنین R^2 به ترتیب در اکثر تیمارها نزدیک به عدد یک بوده که نشان‌دهنده‌ی توانمندی مدل در تخمین مناسب عملکرد محصول و زیست‌توده می‌باشد. نتایج دیگر جدول ۷، نشان می‌دهد که جذر میانگین مربعات خطا برای تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و سطوح آبیاری نزدیک به صفر می‌باشد این عدد نشان‌دهنده آن است که مدل می‌تواند پاسخ عملکرد محصول و زیست‌توده به مقدار کم آبیاری و سطوح کودی را با دقت قابل‌قبول شبیه‌سازی کند.

در پژوهش‌های مشابه (Gholizadeh *et al*., 2014)؛ گزارش شد که مدل Aquacrop تا حدود ۹۶ درصد تغییرات عملکرد محصول را در شرایط مختلف کاشت، آبیاری کامل و کم‌آبیاری شبیه‌سازی می‌کند. همین‌طور جذر میانگین خطا بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی مدل از ۰/۴۱ تا ۰/۹۶ تن در هکتار تغییر می‌کند. همچنین نتایج واسنجی مدل Aquacrop برای جو *(Hordeum vulgare)* در منطقه پاکدشت نشان داد که مدل با ضریب تعیین ۰/۹۹ و جذر میانگین

www.SID.ir

Archive of SID

مربعات خطای ۰/۵۹ تن در هکتار، تطابق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد. همچنین تحقیقات دیگری (Tavakoli *et al*., 2013; Karimi Uregani *et al*., 2016; Andarzian *et al*., 2011) نشان داد که مدل Aquacrop به‌خوبی توانسته است زیست‌توده و عملکرد محصول را شبیه‌سازی کند؛ در تحقیقات آنها مقدار شاخص ویلموت برای شبیه‌سازی عملکرد محصول و پوشش گیاهی به ترتیب برابر با ۰/۹۹ و ۰/۹۹ گزارش شده است. طی نتایج مشابه (Salemi *et al*., 2015; Gholizadeh *et al*., 2014) مقدار جذر میانگین مربعات خطا مشابه نتایج این تحقیق است.

جدول ۷- شاخص‌های آماری در تعیین درجهٔ اعتماد مدل در برآورد، عملکرد محصول و زیست‌توده (میانگین دو سال) برای تیمارهای آبیاری و سطوح کودی مختلف

Table 7- Statistical indices in determining the amount of trust in the model for estimating yield and biomass for irrigation treatments and different fertilizer levels

تیمارها Treatments		عملکرد محصول Yield (t. ha^{-1})			زیست‌توده Biomass (t. ha^{-1})		
سطح آبیاری Irrigation level	سطح کود Fertilizer level	RMSE	R^2	d	RMSE	R^2	d
I_1	F_1	0.09147	0.88764	0.961	0.25608	0.99497	0.94647
	F_2	0.0627	0.68373	0.9553	0.28522	0.98259	0.90443
	F_3	0.10955	0.96685	0.96892	0.29567	0.33654	0.76811
I_2	F_1	0.05544	0.96157	0.98762	0.2392	0.8715	0.80561
	F_2	0.0764	0.3719	0.94022	0.25686	0.9918	0.87312
	F_3	0.1334	0.9776	0.96047	0.27753	0.94018	0.81661
I_3	F_1	0.081	0.78348	0.96677	0.12304	0.69379	0.9472
	F_2	0.0858	0.74963	0.94447	0.1468	0.9566	0.9696
	F_3	0.0449	0.92323	0.98163	0.09192	0.9876	0.96811

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی مدل جهت شبیه‌سازی عملکرد محصول و زیست‌توده تحت تیمارهای مختلف کم آبیاری و سطوح کودی انجام گرفت. از آنجا که مدل مذکور بر پایه مدیریت مصرف آب و بر اساس میزان عملکرد محصول با توجه سناریوهای مختلف مدیریت آبی و خاکی پی‌ریزی شده است لذا ابزار کارآمدی برای ارائه راهکاری مناسب جهت افزایش محصول و بهره‌وری آب مصرفی می‌باشد. همچنین از آن می‌توان برای کاهش اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر میزان عملکرد محصول نیز استفاده کرد. همچنین از این مدل می‌توان ضمن بررسی گزاره‌های مختلف مدیریتی مصرف آب و ارزیابی مدل‌های محلی برای کمک به بهره‌برداران عرصه مدیریت آب در مزرعه راهکارهای مناسبی را ارائه داد.

با توجه به مطالب واسنجی و صحت‌سنجی مدل برای هر محصول با توجه به داده‌ها و اطلاعات محلی امری ضروری می‌باشد. با ارزیابی نتایج واسنجی و صحت‌سنجی مدل مشخص شد که مدل Aquacrop قادر است که عملکرد محصول و میزان زیست‌توده را به‌خوبی شبیه‌سازی نماید. به‌طوری‌که مقادیر واسنجی مدل به همراه پیش‌بینی خطای آماری ضریب تبیین برای عملکرد محصول و زیست‌توده برای تمام سطوح مختلف کودی و کم‌آبیاری به ترتیب برابر با ۰/۹۷ و ۰/۹۶ به دست آمد. همچنین در مرحله صحت‌سنجی مدل مقادیر ضریب همبستگی برای عملکرد محصول و زیست‌توده به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۸۱ به دست آمد. با بررسی تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و سطوح کودی مشخص شد که تیمار F_2I_1 نسبت به دیگر تیمارها دارای عملکرد بیشتر و میزان زیست‌توده بالاتری می‌باشد. بالا بودن میزان عملکرد و زیست‌توده در این تیمار بیانگر آن است که با کاهش میزان کود به ۸۰ درصد معمول نه‌تنها عملکرد محصول کاهش نمی‌یابد بلکه دارای افزایش هم خواهد بود؛ لذا افزایش بیش از حد میزان کود باعث تلفات آن می‌گردد.

در صورت کاربرد زیاد کود و عدم جذب توسط گیاهان، در اثر نفوذ آب به خاک از طریق آبیاری و یا بارندگی به خارج از ناحیه ریشه حرکت کرده و به اعماق خاک راه می‌یابد. در نتیجه‌ی این فرایند، غلظت املاح آب‌های زیرزمینی در مناطق تحت کشت به‌سرعت افزایش می‌یابد. از آنجا که کود مصرفی در این تحقیق کود اوره بوده لذا استفاده بیش از حد آن موجب افزایش نیترات خواهد گشت. نیترات از شاخص‌های مهم آلودگی منابع آب‌های سطحی، زیرزمینی و زه‌آب جاری در شبکه‌های آبیاری و زهکشی، می‌باشد که براثر کاربرد انواع کودهای شیمیایی و آلی (دامی و انسانی)، تجزیه گیاهان و دیگر باقی‌مانده‌های آلی خاک و تخلیه نامناسب فاضلاب به وجود می‌آید. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر آن است که برای کاشت نیشکر در شرایط آب‌وهوایی جنوب اهواز، با کاهش ۲۰ درصدی در مصرف کود می‌توان به عملکرد موردنظر دست یافت؛ این امر نه‌تنها کاهش هزینه‌های مربوط به کشاورزی را به همراه خواهد داشت؛ بلکه در بلندمدت اثرات سوء ناشی از مصرف بیش از حد کود را کاهش داده و ضمن افزایش محصول، برنامه‌ای راهبردی برای نیل به اهداف کشاورزی پایدار خواهد بود

www.SID.ir

Archive of SID

References

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

Dinarvand, M., Andarzian, S. B., Ejtehadi H. and Farzam, M. 2018. Evaluation of AquaCrop model fortwo rangeland species (*Hordeum murinumand Medicago polymorpha*) in Shimbar protected area, Khuzestan. *Iranian Journal of Range and Desert Research*. 25 (2): 388-398. (In Persian with English abstract).

Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield Response to Water. FAO, Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome, *FAO*, 193 p.

Emdad, M. R., Tafteh, A. and Ghalebi, S. 2018. Validation of Aquacrop model for simulating wheat yield in different irrigation events. *Journal of Water and Soil*. 32(3): 463-473. (In Persian with English abstract).

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Miranda, R., Cusicanqui, J. A., Taboada, C., Mendoza, J., Huanca, R., Mamani, A., Condori, O., Mamani, J., Morales, B., Osco, V. and Steduto, P. 2009. Simulating yield response to water of Quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) with FAO-AquaCrop. *Agronomy Journal.* (101): 499-508.

Gholizadeh, H., Ebadzadeh, H. R., Hatami, F., Hosseinpour, R., Mohiti, Z., Fazli-Estabragh, M., Rezaei, M. M., Arab, H., Kazemi-Fard, R., Fazli, B., Abdeshah, H., Sefidi, H., Rafiei, M. and Kazemian, A. 2014. Statistics Report of Iran: Agricultural Year 2011-2012. Crop Production. Planning, Administrative & Financial Affairs of the Agricultural Organization, *Ministry of Jihad-e-Agriculture*, Iran.

Golabi, M. and Naseri, A. A. 2015. Evaluation of AquaCrop model in predicting of Sugarcane yield and soil profile salinity under salinity stress. *Journal of Water and Soil Research in Agriculture*, 46(4): 685-694. (In Persian).

Hoogenboom, G. J., White, J. W., and Messina, C. D. 2004. From genome to crop: integration through simulation modelling. *Field Crop Research.* 90, 145 -163.

Hosseini, S. T., Khoshravesh, M., Ziatabar Ahmadi, M. K. and Ghadami Firouzabadi, A. 2016. Evaluation of soybean yield by AquaCrop model under salinity and deficit irrigation management. *Water Research in Agriculture*. 30 (3): 361-372. (In Persian with English abstract).

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

Jones, R. N. 2000. Analyzing the risk of climate change using an irrigation demand model. *Climate Research*, 14: 89-100.

Karimi Uregani, H., Rahimikhoob, A. and Nazarifard, M. H. 2016. Validation and testing of the AquaCrop model for barley in Pakdasht area. *Journal of Soil and Water Research*. 47(3): 539-549. (In Persian with English abstract).

Koochakzadeh, A., Fathi, G., Gharineh, M. H., Siadat, S. A., Jafari, S. and Alami-Saeid, KH. 2013. Effect of the rate and split application of urea fertilizer on qualitative and quantitative yields of sugarcane ratoon. *Scientific Journal of Agriculture*, 36 (3): 119-129. (In Persian).

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C. and Fereres, E. 2009. Reference manual annexes. *AquaCrop- the FAO crop model to simulate yield response to water*, Rome, Italy.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T. C. and Fereres, E. 2012. Reference manual AquaCrop, *FAO Land and Water Division*, Rome, Italy.

Razzaghi, F., Zhenjiang, Z., Andersen, M. N. and Plauborg, F. 2017. Simulation of potato yield in temperate condition by the AquaCrop model. *Agricultural Water Management*. 191: 113-123.

Salemi, H. R., Andarzian, B. and Gavanji, S. 2015. Assessment of yield optimization and water use for local rice under water deficit conditions in Nekuabad irrigation network in Isfahan, Iran. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 16 (2):25-40. (In Persian with English abstract).

Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D. and Fereres, E. 2009. Aquacrop-The FAO Crop Model to Simulate Yield Response to Water: I. Concepts and Underlying Principles. *Agronomy Journal.* 101:426–437.

Tavakoli, A. R., Liaghat, A. and Alizadeh, A. 2013. Soil water balance, sowing date and wheat yield using AquaCrop model under rainfed and limited irrigation. *Agricultural Engineering Research*. 14, 41-55. (In Persian).

Thorburn, P. J. 2004. Review of nitrogen fertilizer research in the Australian sugar industry.Final report. 125 p.

Xiuliang, J., Zhenhai, L., Chenwei, N., Xingang, X., Haikuan, F., Wenshan, G. and Jihua, W. 2018. Parameter sensitivity analysis of the AquaCrop model based on extended fourier amplitude sensitivity under different agro-meteorological conditions and application. *Field Crops Research*. 226: 1-15.

www.SID.ir

Archive of SID

Evaluation of sugarcane yield affected as irrigation level and fertilizer by using Aquacrop model

Farzad Haghnazari[1], Mahshid Ghanbarian[2*], Ali Sheini Dashtegol[3], Vida Varnaseri Ghandali[4]

[1]Ph.D. student of irrigation and drainage at University of Zabol, Zabol, Iran
[2]Ph.D. student of irrigation and drainage at Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
[3]Ph.D. student of irrigation and drainage at Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
[4]Ph.D. student of agricultural ecology at University of Zabol, Zabol, Iran

*Corresponding Author: Mahshid.ghanbarian@gmail.com

Received: 25 April 2019 Accepted: 06 December 2019 **DOI: 10.22034/csrar.2020.119085**

Abstract

Increasing water use efficiency in order to more produce in the agriculture section has special importance. Therefore, simulation of plant growth stages and, consequently, prediction of product yield lead to better planning and more efficient management in the production process. The present study was conducted with the aim of predicting yield and sugarcane biomass at ratoon stage in the third year of planting, with AquaCrop model in Amir Kabir Agro-industry Co. with three levels of full irrigation or 100% water requirement (I_1), 75% (I_2) and 55% water requirement (I_3) and three levels of 100% manure requirement of sugarcane plant to nitrogen fertilizer (F_1), 80% (F_2) and 60% (F_3) with four replications in 2010-2011. For calibration of the model, the calibration values with the prediction of statistical error of R^2 for yield and biomass for all levels of fertilization and irrigation were 0.97 and 0.96 respectively. In the validation stage, the yield of the product was simulated in different conditions of irrigation management, and it was compared with actual yield, and the correlation coefficients for the yield of the product and the biomass was estimated to be 0.91 and 0.81, respectively. The results showed that F_2I_1 has higher yield and biomass than other treatments and with the 20% reduction in fertilizer application, the desired yield could be achieved. This will reduce agricultural costs and, in the long run, will also eliminate the negative effects of excessive fertilizer use and, while increasing production, will be a strategic plan for achieving sustainable agricultural objectives.

Key words: Biomass, Calibration, Sensitivity analysis, Validation

www.SID.ir