نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۸، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۱۱۵-۱۰۸

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 8, Mar-Apr 2014, p. 108-115

واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop برای ذرت علوفه‌ای منطقه قزوین

حدیثه رحیمی خوب،[۱*] عباس ستوده‌نیا،[۲] علیرضا مساح بوانی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۹

چکیده

مدل‌های شبیه‌سازی رشد محصول، ابزارهای مفیدی برای مطالعه سناریوهای مختلف کم آبیاری محسوب می‌شوند. این مدل‌ها قبل از استفاده نیاز به واسنجی و ارزیابی دارند. مدل آکواکراپ یکی از جدیدترین مدل‌ها است که توسط سازمان فائو ارائه شده و به دلیل ثابت بودن اغلب پارامترهای ورودی آن مورد توجه کارشناسان قرار گرفته است. در این تحقیق، پارامتر درجه روز رشد از کاشت بذر تا شروع به مرحله پیری گیاه که یکی از متغیرهای ورودی مدل آکواکراپ است، برای ذرت علوفه‌ای در منطقه قزوین مورد واسنجی قرار گرفت. برای واسنجی و ارزیابی مدل، از نتایج تحقیق ستوده‌نیا (۲۰۰۲) که بر روی واریته سینگل کراس ۷۰۴ در مزرعه تحقیقاتی اسماعیل آباد قزوین در طی دو سال ۱۳۷۹و۱۳۸۰انجام گرفته بود، استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که کمترین خطای برآورد با انتخاب مقدار ۱۲۰۰ درجه روز از کاشت بذر تا شروع به مرحله پیری برای واریته فوق کسب می‌شود. شاخص‌های آماری ضریب تعیین، جذر میانگین مربع خطا و میانگین انحراف خطا به ترتیب برابر ۰/۹۳، ۱/۵ تن در هکتار و ۰/۵ تن در هکتار برآورد شدند.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های گیاهی، آکواکراپ، ذرت علوفه‌ای، قزوین

مقدمه

کشور ایران با متوسط بارش سالانه ۲۵۰ میلی‌متر که حدود یک سوم متوسط جهان است، در یکی از خشک‌ترین مناطق جهان قرار دارد. بخش کشاورزی با مصرف بیش از ۹۰ درصد بزرگ‌ترین مصرف کننده منابع آب است و در مقایسه با متوسط جهان که حدود ۷۰ درصد می‌باشد رقم قابل ملاحظه‌ای را نشان می‌دهد. افزایش جمعیت و به‌دنبال آن مصرف آب بیش‌تر در سایر بخش‌ها مثل صنعت و شهر، ضرورت ارتقاء بهره‌وری آب در بخش کشاورزی را آشکار می‌کند. بهره‌وری آب بیانگر میزان تولید محصول به ازای آب مصرفی است. اعمال کم آبیاری یکی از راه‌کارهای افزایش بهره‌وری آب است (Farre&Faci,2009، Debaek&Aboudrare,2004، Blum,2009، Fereres&Soriano,2007، Geert &Raes,2009). به‌وسیله کم آبیاری، آب کم‌تر از آب مورد نیاز در طی دوره رشد به گیاه داده می‌شود. اگر چه کم آبیاری موجب تنش به گیاه می‌شود، ولی با مصرف آب کمتر در دوره‌های غیر حساس رشد و تأمین آب کامل گیاه در مرحله رشد حساس گیاه، محصول بیش‌تری به ازای آب مصرفی برداشت می‌شود (Geert & Raes,2009 Blum,2009).

آنجام آزمایش‌های مزرعه‌ای مربوط به پاسخ گیاه به مقادیر مختلف آب کاربردی پرزحمت بوده و هزینه‌های زیادی دارد. با توجه به این محدودیت‌ها، مدل‌های گیاهی برای مطالعه و تعیین خط مشی در برنامه‌ریزی کم آبیاری ابزار مفیدی می‌باشند (Geert & Raes,2009). با استفاده از مدل‌ها، اثر سناریوهای مختلف کم آبیاری بر روی تولید محصول تعیین می‌شود و با توجه به منابع آب بهترین برنامه کم‌آبیاری استنتاج می‌گردد (Liu et ؛ Pereira et al,2002 al,2007). مدل‌ها از یک سری پارامترهای گیاهی و محیطی برای شبیه‌سازی رشد محصول استفاده می‌کنند و باید قبل از استفاده، واسنجی و ارزیابی شوند. یکی از جدیدترین مدل شبیه سازی رشد گیاه، مدل آکواکراپ است که توسط کارشناسان سازمان فائو ارائه شده است. هدف از تدوین این مدل ایجاد یک تعادل بین دقت، سادگی و سهولت استفاده برای کاربران نهایی مثل کارشناسان و مدیران سازمان آب و اقتصاددان و سیاست گذاران مدیریت منابع آب که نیاز به مدل‌های ساده برای طراحی و تحلیل سناریوهای مختلف دارند، بوده است (Hsiao et al,2009). همانطور که نام این مدل (Aquacrop) نشان می‌دهد، آب به‌عنوان عامل تعیین کننده بهره‌وری محصول شناخته شده، به طوری که در این مدل، تعرق روزانه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
۲- استادیار گروه مهندسی آب ، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
۳- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: Email: hadisrahimikhoob@yahoo.com)

گیاه و عامل بهره‌وری نرمال شده بـه زیـست تـوده تبـدیل مـی‌شـود (Hsiao et al,2009). اثرات کمبود آب در مدل آکواکراپ با محاسـبه کمبود رطوبت خاک نسبت به قابلیت نگهداری رطوبـت خـاک ناحیـه ریشه و با استفاده از چهار تابع پاسخ گیاه به تنش آبی آشکار می‌گردد. این چهار تابع عبارتند از: تابع مهار رشد تاج پوشـش و شـاخ و بـرگ، تابع مهار هدایت روزنـه گیـاهی، تـابع شـتاب پیـری زود هنگـام تـاج پوشش و تابع تغییر شاخص برداشت محصول. پایه و اساس و سـاختار آلگوریتم این توابع در مقالات کارشناسان تدوین کننده مدل آکواکراپ (Raes et al,2009; Steduto et al,2009) ارائه شده است. در توابع فوق از پارامترهایی استفاده می‌شود که مقادیر آن‌ها باید برای هر گیاه و گونه‌های آن واسنجی شود. پارامترهای گیاهی در این مدل به چهار گروه شامل ۱- پارامترهایی کـه مربـوط بـه خـانواده گیـاه اسـت، ۲- پارامترهایی که مربوط به گونه گیاهی می‌شـود، ۳- پارامترهـایی کـه مقادیر آن‌ها بستگی به مدیریت دارد و ۴- پارامترهایی که مربـوط بـه رقم خاصی از گیاه می‌شود. پارامترهای گروهـای یـک و دو ثابـت‌انـد (conservative) و نیاز به واسنجی ندارند. پارامترهای گروه سـه کـه تعدادشان محدود است بستگی به مدیریت کـشت در مزرعـه دارد کـه مقادیر آن توسط کاربر به مدل وارد می‌شود و لـذا ایـن پارامترهـا نیـز نیازی به واسنجی ندارد. پارامترهای گروه چهار بستگی بـه نـوع رقـم کشت شده از گیاه دارد و برای هر گونه و اقلیمی باید واسـنجی شـود. مقـادیر ثابـت پارامترهـای گروهـای یـک و دو و حـدود پارامترهـای گروهای سه و چهار برای بسیاری از نباتات زراعی توسط کارشناسـان فائو ارائه شده‌اند.

مدل آکواکراپ با استفاده از داده‌های تجربی شش فصل زراعی بر روی ذرت در دانشگاه کالیفرنیا مورد ارزیابی قرار گرفـت و نـشان داده شد، زیست توده و تولید محصول در شرایط مختلف تراکم بوته، تاریخ کاشت و نیاز آبی با دقت مناسبی شـبیه‌سـازی مـی‌شـود (Hsiao et al,2009). همچنین ایـن مـدل بـرای شـبیه سـازی زیـست تـوده و محصول جو در شمال اتیوپی نیز مورد استفاده قرار گرفـت و از دقـت مناسبی برخوردار بود (Araya et al,2010) و حداکثر خطا در شـرایط دیم و با آبیاری تکمیلی بر روی نباتات ذرت و چغندرقند در صربـستان بترتیب ۳/۶ و ۱۲/۲ درصد برآورد شد (Stricevic et al,2011). مدل آکواکراپ با دیگر مدل‌های شبیه سازی رشد گیاه مـورد مقایـسه قـرار گرفت. در سال ۲۰۰۹، مدل آکـواکراپ بـا مـدل‌هـای کـراپ‌سیـست (.CropSyst) و مـدل وفوسـت (WOFOST) بـرای شـبیه سـازی محصول آفتاب‌گردان در شرایط کم آبیاری در جنوب ایتالیا مقایـسه و نتیجه‌گیری شد که استفاده از مدل آکواکراپ به دلیل سادگی و نیاز به داده‌های کم‌تـر، تـرجیح داردTodorovic et al,2009). ولـی مـدل آکواکراپ در شرایط تنش آبی شدید، از دقت مطلوبی برخوردار نیست. هنگ و همکاران گزارش دادند، این مدل عملکرد دانه، زیست تـوده و پوشش گیاهی ذرت را بطور رضایت بخشی در شرایط آبیاری کامـل و تنش آبی ملایم را شبیه‌سازی می‌کند، ولی در شرایط تنش آبی شـدید به‌خصوص وقتی تنش در دوره پیری اعمـال شـود، از دقـت مطلـوبی برخـوردار نبـود (Heng et al,2009). فراهـانی و همکـاران مـدل آکواکراپ را در شـرایط آبیـاری کامـل و کـم آبیـاری (۴۰، ۶۰ و ۸۰ درصد آبیاری کامل) بـرای پنبـه در منطقـه گـرم و خـشک و بـادخیز مدیترانه‌ای شمال سوریه مورد ارزیابی قرار دادند. آنها نشان دادند، به‌استثنای کمبودهای آبیاری ۶۰ و ۸۰ درصد که درصد خطا بیش از ۳۲ درصد بود در بقیه موارد، مقادیر پیش‌بینی در حدود ۱۰ درصـد مقـادیر اندازه‌گیری برآورد شدند (Farahani et al,2009).

مدل آکواکراپ برای تعداد محدوی محصول و منـاطق محـدودی در ایران مورد ارزیابی قرار گرفته است. این مدل در منطقه کرج بـرای پیش‌بینی عملکرد گندم و سویا در شرایط کم آبیاری نتایج قابل قبولی ارائـه داد (علیـزاده و همکـاران، ۱۳۸۹ ؛ بابـازاده و سـرائی تبریـزی، ۱۳۹۱). مدل آکواکراپ بـرای محـصول آفتـاب گـردان در خورسـتان بررسی شـد و بـا دقـت بـالایی شـبیه سـازی گردیـد (حیـدری نیـا و همکاران، ۱۳۹۱).

ذرت یکی از نباتات اصلی خـوراک دام اسـت و در ایـران از رقـم اصلاح شده سینگل کراس ۷۰۴ در بیش‌تر مناطق کشور استفاده می‌شود، ولی تاکنون مدل آکواکراپ برای ایـن رقـم مـورد ارزیـابی قـرار نگرفته است. هدف از انجام این پـژوهش، واسـنجی و ارزیـابی مـدل آکواکراپ برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ برای منطقه قزوین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق از داده‌های مزرعـه‌ای رسـاله دکتـری کـه بـه مـدت دوسال در سال‌های ۷۹ و ۸۰ بـر روی رقـم سـینگل کـراس ۷۰۴ در مزرعه تحقیقاتی اسماعیل آباد وابـسته بـه سـازمان جهـاد کـشاورزی استان قزوین انجام شده بود، استفاده کرده است (سـتوده نیـا، ۱۳۸۱). این مزرعه در پنج کیلومتری جنوب غربـی شـهر قـزوین در موقعیـت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و ۴۹ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی واقع شده و مساحت آن ۱۳۵ هکتار مـی‌باشـد. منطقـه از نظر آب وهوایی نیمـه خـشک بـا بارنـدگی سـالانه ۳۳۰ میلـی‌متـر و متوسط دمای روزانه ۱۳/۷ درجه سانتی‌گراد است.

آزمایش‌های مزرعه‌ای در زمینـی بـه مـساحت ۱۱۲۵ مترمربـع و ابعاد ۲۵×۲۵ متر اجرا شد. طرح آزمایش در چهار سطح آبیاری با چهار تکرار در قالب طرح مربع لاتین اجرا شد. چهار سـطح آبیـاری عبـارت بودند از ۱- آبیاری در زمـان ۴۰٪ کمبـود رطوبـت خـاک (W1)، ۲- آبیاری در زمان ۵۰٪ کمبود رطوبت خاک (W2)، ۳- آبیاری در زمان ۶۰٪ کمبود رطوبت خاک (W3) و ۴- آبیاری در زمـان ۸۰٪ کمبـود رطوبت خاک (W4). کرت‌های‌آزمایشی بـه ابعـاد ۵×۱۰ متـر احـداث شدند و در هر یک از آنها، هشت شیار آبیاری به فواصل ۷۰ سانتی‌متر حفر شدند.

جدول ۱ - مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل تحقیق

مشخصه	عمق خاک (سانتی‌متر)				
	۰-۲۰	۲۰ - ۴۰	۴۰ - ۶۰	۶۰ - ۸۰	۸۰ - ۱۰۰
شن (٪)	۵۱	۳۵	۴۷	۳۹	۳۷
سیلت (٪)	۳۰	۵۰	۳۸	۵۴	۵۴
رس (٪)	۱۹	۱۵	۱۵	۷	۹
بافت خاک	لوم	لوم	لوم	لوم سیلتی	لوم سیلتی
ظرفیت زراعی (W/W)	۰/۱۹	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۲۲	۰/۲۹
نقطه پژمردگی (W/W)	۰/۰۸	۰/۱۰	۰/۱۴	۰/۱۲	۰/۱۵
اسیدیته (PH)	۸	۸	۸	۸	۸
کربن عالی (٪)	۰/۵۳	۰/۳۷	۰/۲۳	۰/۲۵	۰/۲۹
فسفر (ppm)	۱۳/۳	۴/۷	۲/۷	۲/۷	۳/۰
پتاسیم (ppm)	۱۵۰	۱۳۵	۱۴۵	۹۰	۱۰۵

برای مستقل بودن تیمارها در هر کرت نسبت به هم، بین کرت‌ها یک متر فاصله گذاشته شد. ذرت علوفه‌ای اصلاح شده سینگل کراس ۷۰۴ با فواصل ۲۰ سانتی‌متر در هر شیار در تاریخ‌های پنجم خرداد و ۱۱ تیر بترتیب طی سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ کاشته شد. مشخصات شیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

اولین آبیاری بلافاصله بعد از کاشت انجام شد و آب به‌طور یکسان تا آبیاری سوم (زمان چهار برگی بوته‌ها) به تمام تیمارها داده شد. از آبیاری چهارم به بعد، تاریخ و عمق آب آبیاری بر اساس کمبود رطوبت خاک در نظر گرفته شده برای هر تیمار از رابطه زیر محاسبه شد:

$$SMD = (\theta_{FC} - \theta_i) \times D \times BD \times f \quad (۱)$$

در رابطه فوق، SMD کمبود رطوبت خاک (mm)، θ_{FC} رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت مزرعه (اعشاری)، θ_i رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری (اعشاری)، عمق توسعه ریشه (mm)، BD جرم مخصوص ظاهری خاک ($g\ cm^{-3}$) و f ضریب مربوط به تیمارهای آبیاری. ضریب تیمارهای W1 تا W4 بترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶ و ۰/۸ می‌باشند. برای اندازه‌گیری رطوبت خاک و تعیین زمان و عمق آبیاری هر کرت از دستگاه رطوبت سنج TDR "بازتاب زمانی امواج" و برای کنترل حجم آب تخلیه شده به هر کرت از دستگاه کنتور دو اینچی استفاده شد.

مدل آکواکراپ برای اجرا نیاز به ورود داده‌های هواشناسی، گیاه، خاک، مدیریت مزرعه و آبیاری دارد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز مدل آکواکراپ عبارتند از مقادیر روزانه بیشینه و کمینه دمای هوا، تبخیر و تعرق مرجع (ET_o) و بارش. تبخیر و تعرق مرجع به روش معادله پنمن مانتیث فائو و با استفاده از دمای بیشینه و کمینه هوا، سرعت باد، رطوبت نسبی و ساعات آفتابی برآورد شد. داده‌های هواشناسی مورد نیاز این تحقیق از ایستگاه هواشناسی قزوین جمع‌آوری شد. تغییرات دمای هوا و تبخیر و تعرق مرجع در طی دو دوره آزمایش‌های این تحقیق در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ در شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

پارامترهای رشد ذرت در طول فصل رشد در جدول ۲ ارائه شده است. وزن خشک زیست توده در انتهای فصل رشد با برداشت اندام هوایی گیاه و خشک کردن آن در دستگاه آون به‌مدت ۴۸ ساعت اندازه‌گیری و به عنوان پارامتر عملکرد استفاده شد. یک سری پارامترهای گیاهی در مدل آکواکراپ استفاده می‌شود که مقادیر آن‌ها برای ارقام مختلف هر گیاه ثابت بوده و مقادیرشان توسط کارشناسان فائو ارائه شده‌اند (Raes et al,2011). این پارامترها و مقادیرشان در جدول ۳ ارائه شده است. به غیر از پارامترهای گیاهی ثابت، پارامترهای گیاهی دیگری هستند که مقادیرشان بستگی به گونه گیاه دارد و باید برای هر گونه و هر منطقه واسنجی شوند. اغلب این پارامترها بر روی عملکرد دانه محصول تأثیر گذار بوده ولی مقدار تولید زیست توده تابعی از درجه روز رشد[1] از کاشت بذر تا شروع به پیری می‌باشد که دامنه تغییرات آن برای گونه‌های مختلف گیاه ذرت بین ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه می‌باشد (Raes et al,2011). با توجه به اینکه هدف این تحقیق واسنجی مدل آکواکراپ برای پیش‌بینی زیست توده ذرت علوفه‌ای است، لذا پارامتر درجه روز رشد از کاشت بذر تا شروع به پیری مورد واسنجی قرار گرفت.

مدل آکواکراپ از روش واحد گرمایی بر حسب درجه روز رشد، برای توصیف رشد گیاه استفاده می‌کند. با استفاده از این روش، طول دوره‌های رشد گیاه یا زمان لازم برای رسیدن به یک مرحله از رشد گیاه بر حسب درجه روز رشد به جای تعداد روزها بیان می‌شود. درجه روز رشد از تفاضل دمای پایه[2] بر متوسط دمای روزانه هوا حساب

1- Growing Degree Days
2- Base temperature

می‌شود:

$$GDD = T_{avg} - T_{base} \quad (۲)$$

جدول ۲- پارامترهای رشد ذرت

پارامتر	واحد	مقدار
تراکم کشت	بوته در هکتار	۷۱۴۲۹
زمان جوانه زنی	روز بعد از کاشت	۱۳
حداکثر پوشش گیاهی	درصد	۹۰
زمان رسیدن به حداکثر پوشش گیاهی	روز بعد از کاشت	۶۰
زمان شروع پیری	روز بعد از کاشت	۱۰۳
زمان رسیدگی فیزیولوژیک	روز بعد از کاشت	۱۲۶

در رابطه فوق، T_{avg} متوسط دمای روزانه هوا (^oC)، T_{base} دمای پایه (^oC) و GDD درجه روز رشد (^oC) می‌باشند. دمای پایه، دمایی است که کم‌تر از آن برای محاسبه درجه روز رشد به حساب نمی‌آید و به عبارتی رشد گیاه به جریان نمی‌افتد. همچنین در آکواکراپ آستانه دمای بالا (T_{upper}) هم در نظر گرفته می‌شود. آستانه دمای بالا، دمایی است که بالاتر از آن منجر به افزایش درجه روز رشد نمی‌شود. برای تعیین درجه روز رشد از شروع کاشت بذر تا شروع پیری برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ از روش سعی و خطا استفاده شد. بدین صورت که مدل آکواکراپ با مقادیر مختلف درجه روز رشد از شروع کاشت بذر تا شروع پیری در دامنه ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه برای تمام تیمارها اجرا شد و نتایج مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه شدند. به‌منظور انتخاب بهترین مقدار پارامتر فوق، علاوه بر ترسیم نمودارهای اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر برآورد شده، از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (MBE) استفاده شده است. معادلات این شاخص‌ها به شرح زیر می‌باشند:

$$R^2 = \frac{\left[\sum (P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})\right]^2}{\sum (P_i - \overline{P})^2 \sum (O_i - \overline{O})^2} \quad (۳)$$

$$RMSE = \left[N^{-1} \sum_{i=1}^{N} (O_i - P_i)^2 \right]^{0.5} \quad (۴)$$

$$MBE = N^{-1} \sum_{i=1}^{N} (O_i - P_i) \quad (۵)$$

که در آن‌ها، P_i مقادیر برآورد شده مدل، $\overline{P}$ متوسط مقادیر برآورد شده مدل، O_i مقادیر اندازه‌گیری شده، $\overline{O}$ متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده و N تعداد مشاهدات می‌باشند. در این تحقیق تیمارهای سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ بترتیب برای واسنجی و آزمون مدل آکواکراپ استفاده شدند. با توجه به چهار تیمار در دو سال فوق، تعداد مشاهدات برای هر یک از مراحل واسنجی و آزمون چهار نمونه بودند.

نتایج و بحث

محاسبات آماری با استفاده از طرح مربع لاتین برای چهار تیمار سطوح مختلف آبیاری و چهار تکرار و با استفاده از نرم افزار SAS این تحقیق انجام شد و نتایج تجزیه واریانس در سال‌های ۷۹ و ۸۰ در جداول ۴و ۵ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود منابع تغییر ردیف و ستون، تفاوت‌های معنی‌داری از نظر آماری بوجود نیاورده‌اند و بنابراین نتایج اندازه‌گیری قابل اعتماد می‌باشند.

جدول ۳ - مقادیر پارامترهای ثابت ورودی گیاه ذرت به مدل آکواکراپ

علامت	شرح	مقدار	واحد
T_{base}	دمای پایه	۸	^oC
T_{upper}	دمای بالا	۳۰	^oC
-	پوشش گیاهی بذر در زمان ۹۰ درصد ظهور جوانه‌ها	۶/۵	$cm^2/plant$
CGC	ضریب رشد گیاه	۰/۰۱۲	$fGDD^{\backslash}$
CDC	ضریب کاهش رشد گیاه	۰/۰۱	fGDD
K_{cbx}	ضریب گیاهی ذرت در دوره رشد کامل قبل از شروع پیری	۱/۰۵	-
WP*	بهره‌وری آب نرمال شده برای تبخیرو تعرق و دی اکسید کربن	۳۳/۷	$gram/m^2$
pexp,upper	آستانه تخلیه آب خاک برای گسترش تاج پوشش - سطح آستانه بالا	۰/۱۴	-
pexp,lower	آستانه تخلیه آب خاک برای گسترش تاج پوشش - سطح آستانه پایین	۰/۷۲	-
-	عامل شکل برای ضریب تنش آبی رشد گیاه	۲/۹	-
psto	آستانه تخلیه آب خاک برای کنترل روزنه گیاه - سطح آستانه بالا	۰/۶۹	-
-	عامل شکل ضریب تنش آب برای کنترل روزنه	۶	-
psen	آستانه تخلیه آب خاک برای پیری تاج پوشش - سطح آستانه بالا	۰/۶۹	-
-	عامل شکل ضریب تنش آب برای پیری تاج پوشش	۲/۷	-

جدول ٤- تجزیه واریانس عملکرد زیست توده گیاهی در سال ۷۹

منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
ردیف	۳	۲۴/۵۸	۸/۱۹	۱/۷۹
ستون	۳	۵/۳۹	۱/۸۰	<۱
تیمار	۳	۱۳۵	۴۵	۹/۸۴
خطای آزمایشی	۶	۲۷/۴۵	۴/۵۷	-
کل	۱۵	۱۹۲/۴۴	-	-

جدول ۵- تجزیه واریانس عملکرد زیست توده گیاهی در سال ۸۰

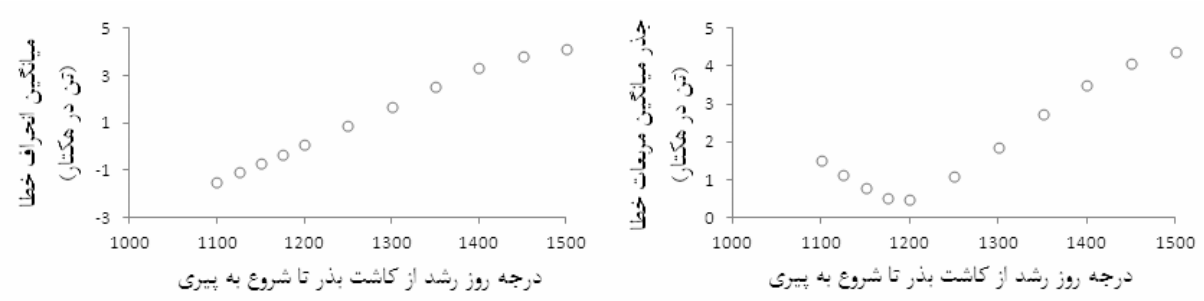
منابع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	F
ردیف	۳	۱۰/۲۳	۳/۴۱	<۱
ستون	۳	۹/۴۸	۳/۱۶	<۱
تیمار	۳	۳۰۹	۱۰۳	۱۰/۴۵
خطای آزمایشی	۶	۵۹/۱۴	۹/۸۶	-
کل	۱۵	۳۸۸	-	-

نتایج آماری تغییرات پارامتر درجه روز رشد از کاشت بذر تا شروع به پیری برای تیمارهای سال ۱۳۷۹ (داده‌های واسنجی) در شکل ۱ ارائه شده است. با توجه به توصیه فائو که تغییرات این پارامتر را بین حدود ۱۲۰۰ تا ۱۵۰۰ درجه توصیه کرده، ولی در این تحقیق مشاهده شد، از مقدار ۱۲۰۰ به بالا، مقدار خطای برآورد روند افزایشی دارد و برای اینکه نقطه عطف تغییرات معین شود، دامنه پایین این حدود تا ۱۱۰۰ درجه مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد برای تمام آزمایشات فوق (تغییرات پارامتر درجه روز رشد از کاشت بذر تا شروع به پیری) ضریب تعیین ۰/۹۹ بود که نشان می‌دهد برای سال ۱۳۷۹، مدل آکواکراپ تا حدود ۹۹ درصد تغییرات محصول ماده خشک ذرت را شبیه سازی می‌کند. مقدار جذر میانگین مربعات خطا از ۰/۴۷ تا ۴/۴ تن در هکتار تغییر می کند و کمترین خطا (۰/۴۷ تن در هکتار) با مقدار ۱۲۰۰ درجه روز رشد از زمان کاشت بذر تا شروع به پیری حاصل شده است. میانگین تولید در تیمارهای سال ۱۳۷۹ برابر ۱۷/۲۸ تن در هکتار بود و لذا درصد خطا برای کمترین خطا حدود ۲/۷ درصد می‌باشد. میانگین انحراف خطا از ۱/۵- تا ۴/۴ تن در هکتار تغییر می‌کند. علامت منفی نشان می‌دهد که مدل کم برآورد می‌باشد. پارامتر مقدار درجه روز رشد از زمان کاشت بذر تا شروع به پیری از ۱۱۰۰ تا ۱۱۷۵ باعث کم برآورد شدن مقدار محصول ماده خشک ذرت می‌شود و از ۱۱۷۵ تا ۱۵۰۰ مقدار محصول روند بیش برآورد دارد، بطوریکه وقتی مقدار این پارامتر در مدل به میزان ۱۵۰۰ درجه روز انتخاب گردد، مقدار محصول تا حدود ۲۳ درصد بیش‌تر از مقدار واقعی برآورد می‌شود. لذا برای رقم سینگل کراس ۷۰۴ برای منطقه قزوین کمترین میزان خطا مربوط به شرایطی است که مقدار درجه روز رشد از زمان کاشت بذر تا شروع به پیری برابر با ۱۲۰۰ درجه - باشد.

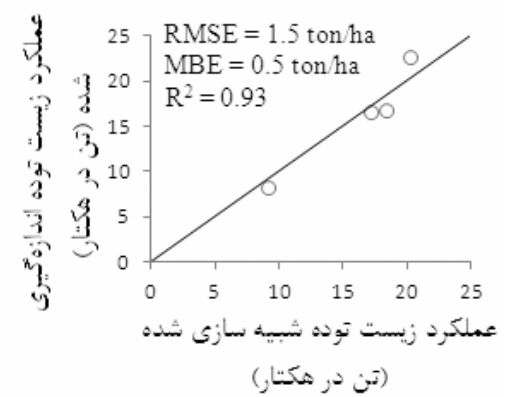
مدل آکواکراپ برای چهار تیمار سال ۱۳۸۰ (داده‌های آزمون) با وارد کردن ۱۲۰۰ درجه روز برای رشد گیاه از کاشت بذر تا شروع مرحله پیری اجرا شد و پراکنش نتایج عملکرد زیست توده شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در شکل ۲ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود نقاط در نزدیکی بهترین خط انطباق (۱:۱) توزیع شده‌اند و پارامترهای آماری RMSE، MBE و R^2 بترتیب ۱/۵ تن در هکتار، ۰/۵ تن در هکتار و ۰/۹۳ برآورد شده‌اند. مقایسه نتایج شبیه سازی شده و اندازه-گیری شده عملکرد زیست توده برای دو سال ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ در جدول ۶ ارائه شده است. ملاحظه می‌شود، درصد اختلاف مقادیر اندازه گیری شده و شبیه سازی شده از نظر قدر مطلق کم‌تر از ۱۱ درصد است و کم‌ترین و بیش‌ترین آن مربوط به تیمار W1 در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ است که به ترتیب ۰/۵ و ۱۱ درصد می‌باشد.

نتایج این تحقیق با سایر تحقیقات مشابه که مدل آکواکراپ را برای ذرت علوفه‌ای با تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری مورد مقایسه قرار گرفت. آبدین‌پور و همکاران طی سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ ذرت علوفه‌ای با تیمارهای مختلف آبیاری کامل و کم آبیاری کشت کردند و مدل آکواکراپ را با استفاده از نتایج اندازه‌گیری شده ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها هم نشان می‌دهد، حداقل و حداکثر برداشت محصول شبیه‌سازی شده به‌ترتیب ۱۳/۵ و ۱۷/۸تن در هکتار است که خطای برآورد بین ۱/۷ تا ۳/۶ درصد تغییر می‌کند (Abedinpour et al,2012).

که در مقایسه با نتایج این تحقیق از دقت بالاتری برخوردار است. هنگ و همکاران مشابه با تحقیقات بالا، طی سال‌های ۱۹۸۹، ۱۹۹۰ و ۱۹۹۴ آزمایش‌های مزرعه‌ای انجام و حداقل و حداکثر برداشت محصول شبیه سازی شده بترتیب برابر ۷ و ۲۶/۲ تن در هکتار گزارش دادند و خطای برآورد بین ۵/۸ تا ۱۰/۳ درصد بود Heng et al,2012).



شکل ۱ - نتایج آماری تغییرات درجه روز رشد از کاشت بذر تا شروع به پیری با استفاده داده‌های واسنجی (سال ۱۳۷۹)



شکل ۲- پراکنش نتایج اندازه‌گیری شده و شبیه سازی شده با استفاده از داده‌های آزمون (سال ۱۳۸۰)

جدول ٦- مقایسه نتایج شبیه سازی شده زیست توده گیاهی ذرت با مقادیر اندازه‌گیری شده

تیمار	۱۳۷۹			۱۳۸۰		
	اندازه‌گیری شده (تن در هکتار)	شبیه‌سازی شده (تن در هکتار)	خطای برآورد ٪	اندازه‌گیری شده (تن در هکتار)	شبیه‌سازی شده (تن در هکتار)	خطای برآورد ٪
W1	۲۰/۹	۲۰/۸	-۰/۵	۲۲/۷	۲۰/۲	-۱۱
W2	۲۰/۰	۲۰/۸	۳/۹	۱۶/۸	۱۸/۳	۸/۹
W3	۱۴/۲	۱۳/۷	-۳/۵	۱۶/۷	۱۷/۱	۲/۴
W4	۱۴/۰	۱۴/۲	۱/۴	۸/۲	۹/۱	۱۱/۱

تغییرات خطای برآورد این تحقیق در حدود تغییرات خطای برآورد تحقیقات اشاره شده فوق است و تفاوت چندانی ندارند و در کل خطای برآورد پیش‌بینی ذرت علوفه‌ای با استفاده از مدل آکواکراپ در مناطق مختلف دنیا که تاکنون انجام شده، در حدود ۴ تا ۱۲/۲ درصد می‌باشد.

نتیجه گیری

در این تحقیق مدل آکواکراپ برای گیاه ذرت علوفه‌ای در منطقه قزوین، واسنجی و ارزیابی شد. مزیت مدل آکواکراپ نسبت به سایر مدل‌های گیاهی این است که پارامترهای ثابت آن زیادتر بوده و واسنجی مدل با داده‌های کم‌تری انجام پذیر است. در این تحقیق فقط پارامتر درجه روز رشد از کاشت بذر تا شروع مرحله پیری برای ذرت علوفه‌ای مورد واسنجی قرار گرفت. این پارامتر برای رقم اصلاح شده سینگل کراس ۷۰۴ برای منطقه قزوین حدود ۱۲۰۰ درجه روز تعیین شد و این مقدار برابر با کمترین مقدار توصیه شده کارشناسان فائو بود. نتایج این تحقیق با سایر تحقیقات مشابه مورد مقایسه قرار گرفت و نشان داده شد که مقادیر خطای برآورد مدل آکواکراپ در منطقه قزوین با خطای برآورد سایر تحقیقات تفاوت چندانی ندارد و در کل حداکثر خطای برآورد این مدل حدود ۱۲ درصد است. توصیه می‌شود در تحقیقات آتی، مدل آکواکراپ برای سایر نباتات و در اقلیم‌های مختلف ایران واسنجی و ارزیابی شود.

منابع

بابازاده،ح و سرایی تبریزی،م. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل AquaCrop تحت شرایط مدیریت کم آبیاری سویا. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۶(۲): ۳۲۹-۳۳۹.

ستوده‌نیا،ع. ۱۳۸۱. بررسی کاربرد مدل Ceres-maize در تعیین عملکرد محصول یک رقم ذرت در قزوین در شرایط کم آبیاری. رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس.

حیدری‌نیا،م.، ناصری،ع.ن و برومند نسب،س. ۱۳۹۱. بررسی امکان کاربرد شبیه AquaCrop در برنامه‌ریزی آبیاری آفتابگردان در اهواز. مجله مهندسی منابع آب. ۵(۱): ۳۹- ۴۱.

علیزاده،ح.ع.، نظری،ب.، پارسی نژاد،م.، رمضانی اعتدالی،ه و جانباز،ح.ر. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم آبیاری گندم در کرج. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۴(۲): ۲۷۳-۲۸۳.

Abedinpour,M., Sarangi,A., Rajput,T.B.S., Man Singh, Pathak,H and Ahmad,T. 2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid Environment. Agricultural Water Management. 110:55– 66.

Araya,A., Habtu,S., Hadgu,K.M., Kebede,A., Dejene,T. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficit and irrigated barley. Agricultural Water Management. 97:1838–1846.

Blum,F.A. 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) is the target of crop yield improvement under drought stress. Field Crops Research. 112:119–123.

Debaek,P and Aboudrare,A. 2004. Adaptations of crop manage to water-limited environments. European Journal of Agronomy.21: 433–446.

Farahani,H.J., Izzi,G and Oweis,T.Y. 2009. Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigated Cotton. Agronomy Journal. 101:469–476.

Farre,F and Faci,J.M. 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 96:384–394.

Fereres,E.M and Soriano,A. 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use: integrated approaches to sustain and improve plant production under drought stress special issue. Journal of Botany. 58:147–159.

Geerts,S and Raes,D. 2009. Deficit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. Agricultural Water Management. 96:1275–1284.

Hsiao,T.C., Heng,L.K., 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. 101:448–459.

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.

Liu,J., Wiberg,D., Zehnder,A and Yang,H. 2007. Modeling the role of irrigation in winter wheat yield, crop water productivity and production in china. Irrigation Science. 26:21–23.

Pereira,L.S., Oweis,T and Zairi,A. 2002. Irrigation management under water scarcity. Agricultural Water Management. 57:175–206.

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 soft ware description. Agronomy Journal 101:438–447.

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.

Stricevic, R., Cosic, M., Djurovic, N., Pejic, B. and Maksimovic, L. 2011. Assesment 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., Saab, M.T.A., Stockle, C. and Steduto, P. 2009. Assessment of Aqua Crop, CropSyst, and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Journal of Agronomy.101 (3):509–521.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 8, Mar-Apr 2014, p. 108-115

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۸، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۱۱۵-۱۰۸

Calibration and Evaluation of AquaCrop for Maize in Qazvin Region

H.Rahimikhoob[1],[*] A.Sotoodehnia[2], A.R.Massahbavani[3]

Received: Sep.28,2013 Accepted: Jan.29,2014

Abstract

Crop growth simulation models are useful tools for studying different scenarios on deficit irrigation. These models need to be calibrated and evaluated before use. AquaCrop model is one of the newest models offered by the FAO and Due to the constant input parameters; it is of interest to experts. In this study, parameter GDD from planting seeds to start the senescence is that one of the input variables AquaCrop model for maize in the region of Qazvin were calibrated. For calibration and evaluation of the Model, results of Sotodenia (2002) that was don for 704 single crass varieties in Ismail Abad in the Qazvin during two years of field research was conducted in 1379 and 1380, were used. The results showed that the lowest error estimate by selecting the 1200 degree days from sowing to start the senescence for above variety can be obtained. Statistical measures of coefficient of determination, root mean square error and mean bias error, respectively, 0.93, 1.5 ton per hectare, 0.5 ton per hectare were estimated.

Keywords: Crop models, AquaCrop, Maize, Gazvin

1- Student of Water Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2- Assistant Professor of Water Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
3- Association of irrigation and Drainage Engineerig Department, College of Aburaihan, University of Tehran
(* - Corresponding Author,E-mail: hadisrahimikhoob@yahoo.com)