

بررسی امکان کاربرد مدل AquaCrop در برنامه ریزی آبیاری آفتابگردان در اهواز

مولود حیدری نیا^{1*}، عبدعلی ناصری²، سعیدبرومندنسب²

تاریخ دریافت: 90/8/1 تاریخ پذیرش: 91/1/24

چکیده

توسعه‌ی منابع آب در مناطق خشک بسیار دشوار است؛ لذا، افزایش تولید با بهبود مدیریت، و به تبع آن، افزایش بازده‌ی آبیاری مقدور است. کم آبیاری از جمله راهکارهایی است که جهت بهبود بازده‌ی آبیاری، و استفاده‌ی بهینه از منابع آبی، بویژه در مناطق خشک کاربرد دارد. ابزارهای جدید مانند نرم‌افزارها، انتخاب و طراحی ترکیبهای مدیریتی را آسان می‌کند. به همین منظور، در این طرح به واسنجی شبیه AquaCrop و بررسی دقت آن در شبیه‌سازی شاخصهای محصول آفتابگردان (*Helianthus annuus.*) پرداخته شد. واسنجی مدل از طریق مقایسه‌ی نتایج حاصل از مطالعات صحرایی و شبیه‌سازی انجام شد. نتایج آزمونهای آماری نشان دادند که مدل از دقت بالایی برخوردار بوده است. درصد خطای پیش بینی (E_r) برای شاخصهای بهره‌وری آب محصول، بهره‌وری آب زیست توده، محصول و زیست توده به ترتیب عبارت بودند از: 7/24، 4/3، 20/85 و 24/66.

واژه‌های کلیدی: کم آبیاری، آفتابگردان، مدل AquaCrop

¹ - دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی-دانشگاه شهیدچمران اهواز-دانشکده مهندسی علوم آب

² - استاد دانشگاه شهیدچمران اهواز-دانشکده مهندسی علوم آب

² - استاد دانشگاه شهیدچمران اهواز-دانشکده مهندسی علوم آب

* - نویسنده‌ی مسئول

مقدمه

برای شبیه سازی به وسیله ی استدیوتو و همکاران (2009) و الگوریتم مورد استفاده در مدل ، به وسیله ی راس و همکاران (2009) ارائه شده است. مدل AquaCrop را می توان به عنوان ابزاری جهت ارزیابی تنش آبی و میزان محصول در منطقه، ارزیابی محصول کشت دیم در طولانی مدت، برنامه ریزی کم آبیاری و آبیاری تکمیلی و ... به کار برد. هدف مورد مطالعه در این طرح، واسنجی مدل AquaCrop و بررسی دقت آن در شبیه سازی عملکرد آفتابگردان، سپس شبیه سازی نمایشنامه های مختلف کم آبیاری، و مقایسه ی آنها از نظر عملکرد محصول و کارآیی مصرف آب در راستای دستیابی به عمق بهینه ی آبیاری در اقلیم اهواز می باشد. در ادامه، به معرفی چند نمونه از تحقیقات انجام شده با استفاده از مدل AquaCrop پرداخته می شود.

علیزاده و همکاران (2010) به ارزیابی عملکرد شبیه AquaCrop در مدیریت کم آبیاری گندم در منطقه ی کرج پرداختند. نتایج این طرح نشان دادند که این شبیه از دقت کافی در تخمین عملکرد محصول در شرایط آبیاری کامل، کم آبیاری و آبیاری تکمیلی برخوردار است. همچنین میزان دقت مدل در پیش بینی در تنشهای شدید نسبت به تنشهای متوسط و کم کاهش می یابد.

پتل و همکاران (2008) به بررسی قابلیت مدل AquaCrop در شبیه سازی محصول پنبه، تحت سناریوهای های آبی متفاوت پرداختند. نتایج این طرح نشان دادند که این برنامه از قابلیت بالایی در شبیه سازی شاخصهای محصول، تحت شرایط آبیاری کامل و

تعیین میزان آب مورد نیاز گیاه، برنامه ریزی آبیاری به منظور تأمین حداکثر رشد و تحصیل حداکثر محصول، مهمترین مرحله ی مطالعاتی در یک طرح آبیاری و زهکشی را تشکیل می دهد. از طرفی، نیز توصیه می شود، کم آبیاری به عنوان گزینه ای کارآمد به منظور افزایش بهره وری آب، در طرحهای آبیاری مدنظر قرار گیرد. کم آبیاری، راهکار بهینه سازی است که در آن آگاهانه به گیاهان اجازه داده می شود با دریافت آب کمتر از نیاز، محصول خود را کاهش دهند (انگلیش، 1995). به منظور کاهش آزمایشهای صحرایی پرهزینه و زمان بر، استفاده از نرم افزارها، گزینه ی بسیار مناسبی است. در این میان، بررسی واکنش عملکرد محصول به آب، در نشریه ی 33 آبیاری و زهکشی فائو (دورنبوس و کسام، 1979) قابل ملاحظه است. مدل زمانبندی آبیاری CRODWAT یکی از نرم افزارهای توسعه یافته به وسیله ی فائو است که کمبود آب را به همین روش شبیه سازی می کند (اسمیت، 1992). بیشتر مدل های ارائه شده در این زمینه، مانند CROPSYST، EPIC، CERES، WOFOST و ... تصنعی بوده و استفاده از آنها مستلزم مهارت زیاد کاربر در واسنجی است، که، نیاز به فراسنجهای زیادی دارند که اندازه گیری اغلب آنها سخت است.

مدل AquaCrop با حفظ قابلیت های نشریه ی 33 فائو، برنامه ای ساده و دقیق است که اصول اساسی آن

پرداختند. نتایج این طرح، تفاوت قابل توجهی را بین نتایج شبیه سازی این سه مدل نشان داد. نهایتاً، مدل AquaCrop به دلیل اطلاعات ورودی کمتر، در شرایطی که اطلاعات نابسندده ای در دسترس می باشند، توصیه شد. هنگ و همکاران (2009) به واسنجی شبیه سازی AquaCrop برای ذرت در اسپانیا پرداختند. نتایج این طرح نشان دادند که این شبیه قادر به تکرار شاخصهای مختلف گیاهی در شرایط آبیاری کامل و کشت دیم می-باشد. همچنین این مدل، قابلیت استفاده جهت بررسی سناریو های مختلف کم آبیاری و مدیریت آبیاری را دارا می باشد.

اصول نظری مدل

تئوری مدل:

مدل AquaCrop با استفاده از معادله دورنبوس و کسام (1979)، که در آن ET نسبتی اساس محاسبه ی عملکرد می باشد، استنتاج شده 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 * حداکثر، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و K_y ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی تبخیر و تعرق می باشد. تفکیک ET به دو بخش تعرق (Tr) و تبخیر (E) از اثر مصرف غیر تولیدی آب از طریق تبخیر (E) بویژه در شرایط پوشش گیاهی ناکامل، جلوگیری می کند. تعرق روزانه (Tr_i) با استفاده از ET_0 روزانه و بهره وری آب (WP) گونه ی گیاهی به وزن

سناریوهای مختلف کم آبیاری، برخوردار می باشد. همچنین دقت مدل، تحت تنشهای شدید آبی کاهش می یابد. گارسیا ویلا و همکاران (2009)، با استفاده از مدل AquaCrop به بهینه سازی عمق آبیاری و بررسی واکنش محصول در سناریوهای های مختلف کم آبیاری در کشت پنبه در شمال اسپانیا پرداختند. نهایتاً، با استفاده از این شبیه و روشهای بهینه سازی اقتصادی، آبیاری در محدوده ی 540-740 میلی متر به عنوان عمق بهینه و شبیه سازی AquaCrop به عنوان ابزاری مناسب در ارزیابی مدیریت آبیاری نشان داده شد. فراهانی و همکاران (2009) به واسنجی مدل AquaCrop، سپس آزمایش آن تحت آبیاری کامل و 40، 60 و 80 درصد آبیاری کامل برای پنبه در سوریه پرداختند. نتایج این طرح میزان خطای حداکثر 10 درصد را بین مقادیر شبیه سازی شده و واقعی در حالت های آبیاری کامل و 40 درصد نشان داد، اما در 60 و 80 درصد آبیاری کامل، میزان خطا تا حدود 32 درصد افزایش یافت. استودتو و همکاران (2009) به معرفی مفاهیم و اصول زیربنایی مدل و سپس به آزمایش مدل برای ذرت پرداختند. اساس کار در این طرح، اعمال برنامه های کم آبیاری قبل از دوران گلدهی و آبیاری کامل بعد از دوران گلدهی می باشد. بیشترین خطای عملکرد محصول شبیه سازی شده و واقعی 24 درصد برآورد گردید. تودرویک و همکاران (2009) به مقایسه ی سه مدل AquaCrop، CropSyst و WOFOST در شبیه سازی رشد و توسعه ی آفتابگردان تحت سناریوهای های آبی متفاوت در جنوب ایتالیا

Yield: عملکرد محصول

قسمت هوایی گیاه تبدیل می شود. معادله ی زیر، بیان ریاضی این رابطه می باشد:

Irrigation: میزان آب آبیاری

$$WP(Ir)_B = \frac{Biomass}{Irrigation} \quad (4)$$

$$B_i = WP * \left(\frac{Tr i}{ET O, i} \right) \quad 2$$

$WP(Ir)_B$: بهره وری آب آبیاری برای زیست توده (کیلوگرم بر مترمکعب)

در این معادله WP بهره وری آب (زیست توده ی ناشی از هر واحد تعرق تجمعی) بوده که مقدار آن در شرایط اقلیمی مشابه ثابت و برابر است (هنکس، 1983؛ تنر و سینکلر، 1983) و B_i میزان زیست توده ی تولیدی روزانه می باشد. با بهنجار کردن WP برای شرایط اقلیمی متفاوت مقدار آن به یک فراسنج ثابت تبدیل می شود. بنابراین، گام گذاشتن از معادله ی 1 به معادله ی 2، دلالت بر صحت و عمومیت شبیه دارد. برتری دیگر معادله ی مورد استفاده در شبیه، معادله ی 2، نسبت به معادله ی 1 این است که شبیه سازی فرآیند های رشد گیاه در آن با استفاده از گامهای زمانی صورت می گیرد، در حالی که در معادله ی 1، شبیه سازی به صورت فصلی یا ماهانه انجام می شود (علیزاده و همکاران، 1389).

Biomass: عملکرد محصول

Irrigation: میزان آب آبیاری

بطور کلی، اگرچه شبیه AquaCrop مبنی بر فرآیندهای زیست فیزیکی پیچیده می باشد (استدیوتو و همکاران، 2009)، اما نیاز به اطلاعات ورودی کم و ساده دارد. ورودیهای مدل شامل چهار دسته از اطلاعات یعنی: داده های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه ای می باشند.

داده های ورودی

داده های اقلیمی

داده های دمای روزانه، مقدار بارندگی روزانه و سایر اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه ی ET_0 در مدل، از اطلاعات آماری سالهای 89-1380 ایستگاه سینوپتیک اهواز استخراج گردید. میانگین سالانه ی غلظت CO_2 برای سالهای مورد نظر به صورت آماده در مدل وجود دارد.

شایان ذکر است که WP شاخص بهره وری از آب است که به صورت نسبت عملکرد به مقدار آب مصرفی بیان می شود. در این طرح $WP(Ir)_y$ و $WP(Ir)_B$ اندازه گیری شده اند که به شرح زیر می باشند:

$$WP(Ir)_Y = \frac{Yield}{Irrigation} \quad 3$$

داده های مربوط به خاک

داده های مورد نیاز در این قسمت با توجه به نتایج تجزیه ی خاک در مزرعه ی تحقیقاتی دانشگاه شهید

$WP(Ir)_y$: بهره وری آب آبیاری برای عملکرد دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)

چمران اهواز، که به وسیله‌ی الباجی (1389) جمع آوری شده‌اند، به مدل معرفی می‌شوند. نتایج تجزیه خاک در جدول آمده‌اند. باتوجه به این که میزان هدایت آبی

جدول 1- مقادیر رطوبت خاک در حالت‌های ظرفیت مزرعه و نقطه‌ی پژمردگی در اعماق مختلف در مزرعه تحقیقاتی دانشکده علوم آب.

عمق (cm)	بافت خاک	درصد رطوبت F.C	درصد رطوبت P.W.P
0-28	متوسط لوم	17/80	8/25
28-49	متوسط لوم	17/48	8/68
49-83	متوسط لوم	19/60	9/66

فراسنجه‌ها و داده‌های گیاهی

گذشت زمان یا موقعیت جغرافیایی تغییر نمی‌کنند.

توصیه می‌شود جهت افزایش دقت و کارایی شبیه، و همچنین به دلیل تفاوت ارقام مختلف یک گونه گیاهی، مقادیر این فراسنجه‌ها ضمن آزمایش‌های صحرایی، مورد بررسی قرار گرفته و در صورت لزوم اصلاحات اعمال شود. مقادیر فراسنجه‌های گیاهی پیش فرض برای آفتابگردان، پس از اعمال اصلاحات در جدول 2 آمده‌اند.

داده‌های گیاهی ورودی شامل فراسنجه‌های ثابت و داده‌های ویژه‌ی کاربر هستند.

فراسنجه‌های ثابت

مقادیر فراسنجه‌های گیاهی ثابت برای اکثر گیاهان زراعی به عنوان پیش فرض در مدل وجود دارد. این فراسنجه‌ها با

جدول 2- مقادیر فراسنجه‌های گیاهی پیش فرض برای آفتابگردان با توجه با اقلیم منطقه و شرایط کشت.

عنوان فراسنجه‌های گیاهی	میزان فراسنج
ضریب افزایش سطح سایه انداز در هر روز (درصد)	21/8
ضریب کاهش سطح سایه انداز در هر روز (درصد)	13/6
عامل تخلیه آب خاک برای توسعه‌ی برگها (حد بالا)	0/15
عامل تخلیه آب خاک برای توسعه‌ی برگها (حد پایین)	0/65
عامل تخلیه آب خاک برای تنظیم میزان بسته شدن روزنه‌ها	0/6
عامل تخلیه آب خاک برای تنظیم زمان شروع پیری پوشش گیاهی	0/7
شاخص بهره‌وری آب تعدیل شده (تن بر هکتار)	18
درصد شاخص بهره‌وری آب در طول تشکیل محصول	60
شاخص برداشت مرجع (درصد)	35

داده ها و فراسنجهای مخصوص کاربر

ریشه، تراکم گیاه، زمان کاشت و مدیریت آبیاری در گروه فراسنجهای مخصوص کاربر طبقه بندی می شوند. در جدول 3، بخشی از فراسنجهای گیاهی مربوط به مراحل پدیده شناسی آفتابگردان آمده است.

همه فراسنجهای مربوط به مکان و فراسنجهای ویژه ی گیاهی طرح، از قبیل ویژگیهای آب و خاک، حداکثر عمق

جدول 3- فراسنجهای گیاهی مربوط به مراحل پدیده شناسی آفتابگردان.

تراکم (بوته در هکتار)	شروع پیری پوشش گیاهی (پس از کشت - روز)	رسیدگی فیزیولوژیکی (پس از کشت - روز)	طول دوره ی گلدهی (روز)	شروع گلدهی (پس از کشت - روز)	حداکثر عمق ریشه (متر)
57000	105	127	16	78	2

مدیریت مزرعه ای

های فوق، به وسیله ی الباجی (1389) با استفاده از روش تشت تبخیر کلاس A محاسبه شده است.

واسنجی مدل در این طرح، با استفاده از مقایسه ی نتایج حاصل از شبیه سازی شبیه و دستاوردهای واقعی انجام شد. آزمایشهای شبیه سازی شده به شرح زیر می باشند:

1. آبیاری به میزان 100 درصد تبخیر و تعرق واقعی آفتابگردان؛
2. آبیاری به میزان 70 درصد تبخیر و تعرق واقعی آفتابگردان؛
3. آبیاری به میزان 50 درصد تبخیر و تعرق واقعی آفتابگردان.

آزمونهای آماری

هدف از کاربرد آزمونهای آماری در این تحقیق، برآورد میزان خطا در محاسبات مدل و برآورد دقت آن در شبیه سازی می باشد.

مطالعات صحرایی این طرح به وسیله ی الباجی (1389) در مزرعه ی تحقیقات آبیاری دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. در این طرح، آب مورد نیاز جهت آبیاری مزرعه تحقیقاتی از رود کارون تأمین شده است. آزمایشهای مزرعه ای در قالب پنج تیمار انجام شده است: تیمار اول: آبیاری معمولی به میزان 100 درصد تبخیر و تعرق واقعی؛ تیمار دوم: کم آبیاری تنظیم شده با 70 درصد تبخیر و تعرق واقعی؛ تیمار سوم: کم آبیاری تنظیم شده با 50 درصد تبخیر و تعرق واقعی؛ تیمار چهارم: کم آبیاری به صورت خشکی موضعی ریشه با 70 درصد تبخیر و تعرق واقعی؛ تیمار پنجم: کم آبیاری به صورت خشکی موضعی ریشه با 50 درصد تبخیر و تعرق واقعی. توجه شود که میزان تبخیر و تعرق واقعی در تیمار

اطراف یک خط راست می باشند و اگر مساوی صفر باشد متغیرها ناهمبسته اند.

نتایج و بحث

نتایج آزمونهای آماری

جدول 4، نتایج آزمونهای آماری انجام شده را برای مقایسه ی نتایج به دست آمده از مدل و نتایج واقعی نشان می دهد. چنانچه در این جدول مشاهده می شود، کمترین مقادیر شاخصهای آماری برای شاخص بهره وری آب محصول، و بیشترین برای زیست توده می باشد. لذا می توان اظهار داشت که دقیقترین شبیه سازی مدل درباره ی شاخص بهره وری آب محصول می باشد. لذا، دقت شاخصهای شبیه سازی شده به ترتیب از بیشترین دقت به کمترین عبارت است از: شاخص بهره وری آب محصول، شاخص بهره وری آب زیست توده، محصول و زیست توده. همچنین، با توجه به مقادیر شاخصهای آماری در جدول 4، و مروری بر تحقیقات انجام شده، می توان اظهار داشت که که میزان خطای پیش بینی محصول در این طرح - 20/85 درصد - در مقایسه با مقدار مشابه آن - 24 درصد - در تحقیق انجام شده برای ذرت به وسیله ی استدیوتو و همکاران (2009) تفاوت چندانی ندارد. همچنین، مقدار این شاخص نسبت به حداکثر خطای پیش بینی به وسیله ی فراهانی و همکاران (2009) (32 درصد) در کشت پنبه کاهش یافته است. همچنین، بررسی نتایج شاخص RMSE محاسبه شده برای محصول و زیست توده - به ترتیب 1/11 و 4/92 -، گویای آن است که دقت شبیه سازی انجام شده نسبت به نتایج تودوریک و همکاران

آزمون RMSE (مقایسه با استفاده از ریشه ی میانگین مربعات خطا)

در این تحقیق به منظور برآورد خطا در محاسبه مقادیر شبیه سازی شده نسبت به مقادیر واقعی، این آزمون برای مقادیر شاخصهای مورد بررسی هر محصول انجام شد.

رابطه ی مورد استفاده به شکل زیر می باشد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (A_i - B_i)^2}{n}} \quad 5$$

آزمون دیگری که برای مقایسه مقادیر واقعی و شبیه سازی شده به کار رفت به شرح زیر می باشد:

آزمون AAD (میانگین قدر مطلق اختلافها)

$$E_r = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|A_i - B_i|}{A_i} \quad 6$$

آزمون E_r (درصد خطای پیش بینی)

$$AAD = \sqrt{\frac{\sum |A_i - B_i|}{n}} \quad 7$$

در روابط فوق:

A_i مقادیر محاسبه شده به وسیله ی مدل

B_i مقادیر واقعی و n تعداد مشاهد ها می باشد.

ضریب همبستگی وایازی (R^2)

در این تحقیق جهت مقایسه و ارزیابی مقادیر شبیه سازی شده و واقعی از ضریب همبستگی وایازی R^2 نیز استفاده شد. دو متغیری که در این طرح مورد بررسی قرار می گیرند، مقادیر واقعی و شبیه سازی شده ی شاخصهای مختلف می باشند. اگر R^2 به 1 نزدیک باشد، یافته های

لذا، با توجه به موارد اشاره شده، می‌توان اظهار داشت که میزان خطای پیش‌بینی محاسبه شده در حد قابل قبولی بوده و پیش‌بینیها با دقت بالایی انجام شده‌اند.

(2009)- برای محصول و زیست توده به ترتیب: 0/7 و 1/81-، کمتر می‌باشد. این افزایش خطا عمدتاً به دلیل شمار کم آزمایشهای شبیه سازی شده، شوری آب، شرایط آب و هوایی، مدیریت آبیاری و خطاهای آزمایشهای صحرایی می‌باشد.

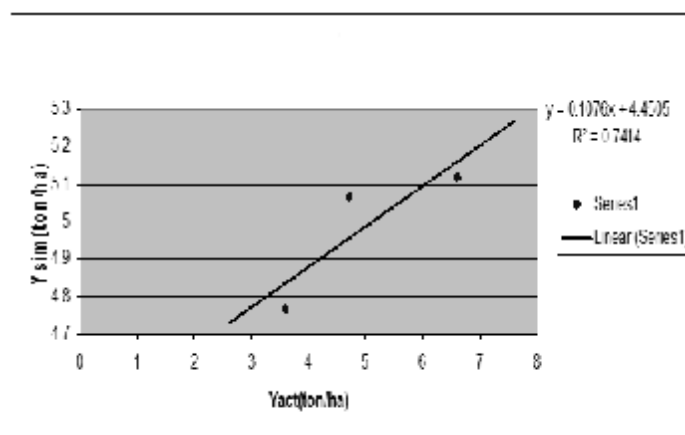
جدول 4- مقادیر شاخصهای آماری محاسبه شده برای آفتابگردان.

RMSE	AAD	E_r	شاخص شبیه سازی شده
1.11	1	20.85	محصول (تن بر هکتار)
4.92	4.63	24.66	زیست توده (تن بر هکتار)
0.05	0.047	4.3	شاخص بهره‌وری آب محصول (کیلوگرم بر متر مکعب)
0.33	0.31	7.24	شاخص بهره‌وری آب زیست توده (کیلوگرم بر متر مکعب)

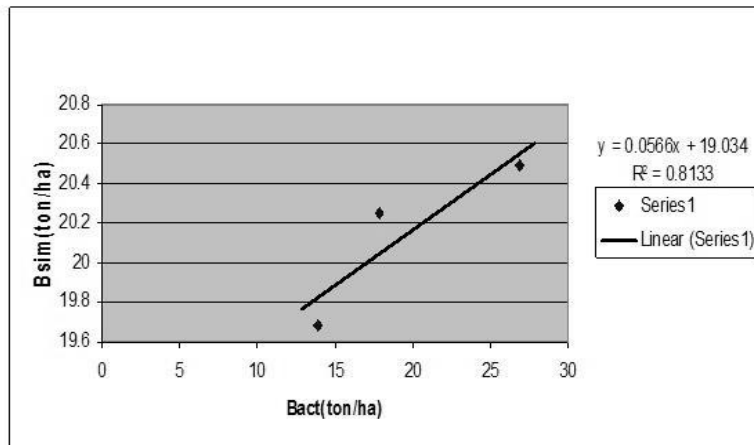
نکرده و نتیجه گیری کلی با توجه به مقادیر سایر شاخصهای آماری انجام شده است. ضریب موردنظر برای شاخصهای میزان محصول، زیست توده، شاخص بهره‌وری آب زیست توده و محصول به ترتیب عبارتند از: 0/7414، 0/8133، 0/3482 و 0/9959. نتایج موردنظر در شکل‌های 1، 2، 3 و 4 آمده است.

تعیین ضریب همبستگی وایزبی (R^2)

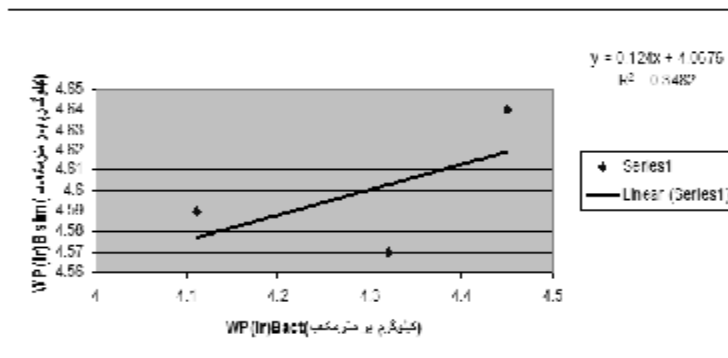
در این بخش به تعیین ضریب R^2 در برآورد شاخصهای مختلف پرداخته شد. میزان ضریب R^2 در این طرح، با توجه به تعداد کم آزمایشهای صحرایی، با استفاده از نتایج سه تیمار محاسبه شده است. لذا، در بررسی نتایج، به R^2 اکتفا



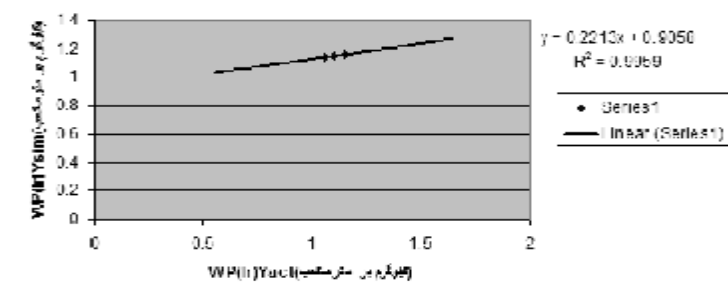
شکل 1- رابطه عملکرد واقعی و شبیه سازی شده ی آفتابگردان.



شکل 2- رابطه زیست توده‌ی واقعی و شبیه‌سازی شده آفتابگردان.



شکل 3- رابطه‌ی شاخص بهره‌وری آب زیست توده‌ی شبیه‌سازی شده و واقعی آفتابگردان.



شکل 4- رابطه‌ی شاخص بهره‌وری آب محصول شبیه‌سازی شده و واقعی آفتابگردان.

سازي برخوردار است. اما ميزان کم ضريب R^2 در شبیه سازی بهره‌وری آب زیست توده، و همچنین افزایش مقادیر شاخصهای آماری برای زیست توده، را با دو دلیل عمده می‌توان توجیه کرد:

با توجه به میزان R^2 برآورد شده برای شاخصهای محصول، و همچنین در نظر گرفتن خطاهایی که بطور معمول در اندازه‌گیری‌های آزمایشهای صحرائی رخ می‌دهد، می‌توان اظهار داشت که از دقت بالایی در شبیه

1. با توجه به دقت بسیار بالای AquaCrop در شبیه سازی بهره وری آب محصول، احتساب وزن ریشه به عنوان جزئی از زیست توده در شبیه می باشد. از آن جا که در آزمایشهای صحرائی وزن ریشه محاسبه نشده است، لذا افزایش شاخص بهره وری آب زیست توده نسبت به نتایج واقعی به چشم میخورد.

2. آستانه ی شوری آفتابگردان برابر با $EC_w: 1.13ds/m$ می باشد (ماس، 1989)، که با توجه ارزیابی کیفی آب، EC آب آبیاری در تمام ایام سال در منطقه بالاتر از حد آستانه بوده است. لذا، نظر به این که این مدل قادر به احتساب شوری در محاسبات نیست، می توان گفت که بخشی از خطای محاسباتی از این طریق وارد گردیده و سبب افزایش محصول و زیست توده شبیه سازی شده نسبت به نتایج واقعی، و نهایتاً افزایش بهره وری آب زیست توده و محصول گردیده است (به بیانی دیگر، تنش شوری از طریق افزایش فشار اسمزی سبب اعمال تنش آبی به آفتابگردان در تمام مراحل رشد شده، و نبود آب کافی علاوه بر کاهش محصول، سبب کاهش سطح سایه انداز و زیست توده نیز گردیده است).

بررسی سناریو های پیشنهادی

با توجه به دقت بالای مدل، جهت دستیابی به بهترین راهکار مدیریت آبیاری، نمایشنامه های زیر مورد بررسی قرار می گیرند:

1. بررسی آبیاری به میزان 70 درصد تبخیر و تعرق واقعی

آفتابگردان:

1-1. اعمال آبیاری به میزان 70 درصد Etc قبل از گلدهی و آبیاری کامل در بقیه ی دوره ی رشد؛

2-1. اعمال آبیاری به میزان 70 درصد Etc بعد از گلدهی و آبیاری کامل در بقیه ی دوره ی رشد؛ 1-3. اعمال آبیاری به میزان 70 درصد Etc تا انتهای دوره ی رشد؛

2. بررسی آبیاری به میزان 50 درصد تبخیر و تعرق واقعی آفتابگردان:

1-2. اعمال آبیاری به میزان 50 درصد Etc قبل از گلدهی و آبیاری کامل در بقیه ی دوره ی رشد؛

2-2. اعمال آبیاری به میزان 50 درصد Etc بعد از گلدهی و آبیاری کامل در بقیه ی دوره ی رشد؛

3-2. اعمال آبیاری به میزان 50 درصد Etc تا انتهای دوره ی رشد.

در جدول 5 و 6 خلاصه ی نتایج نمایشنامه های پیشنهادی در هر حالت مشاهده می شود.

با توجه به نتایج موجود در جداول 5 و 6، مشاهده می شود که در هر دو سناریوی پیشنهادی، اعمال تنش تا انتهای دوره ی رشد نسبت به دو روش دیگر (اعمال تنش قبل و بعد از گلدهی)، بهترین گزینه ی اجرایی می باشد، اگرچه در این روش، محصول به میزان کمی کاهش یافته است، اما سایر فراسنجهها، از جمله شاخص برداشت، شاخص بهره وری آب محصول و زیست توده تقریباً مساوی با دو روش دیگر هستند. از طرف دیگر، کاهش آب مصرفی در این روش بسیار بیشتر از دو روش دیگر است،

بطوری که می‌توان از کاهش اندک محصول چشم‌پوشی کرده و از طرف دیگر سطح زیر کشت را افزایش داد.

جدول 5- مقایسه‌ی کلی سناریوهای آبیاری به میزان 70 درصد تبخیر و تعرق واقعی گیاه

آب صرفه جویی شده (درصد)	شاخص برداشت (درصد)	بهره‌وری آب زیست توده (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب زیست توده (کیلوگرم بر مترمکعب)	زیست توده (تن بر هکتار)	محصول (تن بر هکتار)	نمایشنامه‌ی کم آبیاری
18/6	25	1/14	4/57	20/494	5/127	آبیاری به میزان 70 درصد Etc قبل از گلدهی
8/4	25	1/15	4/58	20/403	5/104	آبیاری به میزان 70 درصد Etc بعد از گلدهی
30	25	1/15	4/59	20/249	5/066	آبیاری به میزان 70 درصد Etc تا انتهای رشد

جدول 6- مقایسه‌ی کلی سناریوهای آبیاری به میزان 50 درصد تبخیر و تعرق واقعی گیاه.

آب صرفه جویی شده (درصد)	شاخص برداشت (درصد)	بهره‌وری آب زیست توده (کیلوگرم بر مترمکعب)	بهره‌وری آب زیست توده (کیلوگرم بر مترمکعب)	زیست توده (تن بر هکتار)	محصول (تن بر هکتار)	نمایشنامه‌ی کم آبیاری
31	25/1	1/15	4/58	20/404	5/113	آبیاری به میزان 50 درصد Etc قبل از گلدهی
13/7	25	1/15	4/59	20/148	5/04	آبیاری به میزان 50 درصد Etc بعد از گلدهی
50	25	1/15	4/59	19/08	4/768	آبیاری به میزان 50 درصد Etc تا انتهای رشد

نتیجه گیری

باتوجه به خطاهای موجود در اندازه گیریهای صحرایی، خطاهای مدل و مقادیر شاخصهای آماری، می توان اظهار داشت که AquaCrop از دقت بالایی در شبیه سازی برخوردار می باشد، اما جهت بررسی بهتر و دقیق تر کارایی مدل، پیشنهاد می شود کارایی آن برای سایر محصولات نیز مورد بررسی قرار گرفته، و همچنین میزان دقت مدل در تنشهای کم، متوسط و شدید بطور جداگانه مورد بحث واقع شود. یکی از دلایلی که می توان برای دقت بالای شبیه در این طرح برشمرد، ایجاد کامل فایل اطلاعات گیاهی به وسیله ی کاربر و انطباق کامل اطلاعات موجود در مدل با شرایط منطقه می باشد. لذا، توجه به این نکته در سایر تحقیقات نیز حائز اهمیت بسیار

است، که در هر منطقه، با توجه به تأثیرات اقلیم بر رشد و نمو محصول، فایل اطلاعات گیاهی مطابق با رقم و اقلیم مورد نظر ساخته شود.

بطور کلی، با توجه به این که مدل AquaCrop از دقت نسبتا بالایی برخوردار است، و همچنین نسبت به سایر مدل های موجود نیاز به فراسنجهای ورودی کمتری دارد، استفاده از آن در طرحهای تحقیقاتی جهت پیش بینی میزان محصول، کارایی مصرف آب، و بررسی تأثیر تنش آبی بر میزان محصول توصیه می شود.

تقدیر و تشکر

از زحمات و همکاری صمیمانه جناب آقای دکتر محمد الباجی، بسیار ممنون و سپاسگزارم.

منابع

1. Albaji, M. 2010. Effect of convectional irrigation(CI), Deficit irrigation (DI) And partial root deficit irrigation (PRD) on water productivity (WP) and water use efficiency of Sunflower. Phd thesis. Shahid chamran university. Faculty of Water engineering. In Persian.
2. Heidariniya. M. 2010. Evaluation of AquaCrop model application in irrigation schdulin of Cotton, Maize and Sunflower. M.S.C thesis. Shahid chamran university. Faculty of Water engineering. In Persian.
3. Alizade H. A. B. Nazari, M. Parsinezhad, H. Ramezani etedali, and H. Janbaz. 2010. Iranian Journal of Irrigation and drainage. P: 273-283
4. Doorenbos, J., A. H. Kassam. 1979. "Yield response to water". irrigation and drainage. Paper No. 33. FAO. Rome.
5. Farahani, H. J., G. Izzi, and T. Y. Oweis. 2008. "Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigation Cotton".Agron J.101:469-476
6. Garcia-Vila, M., E. Fereres, F. Orgaz, and P. Stedute.. 2008. Deficit Irrigation Optimazation of Cotton with AquaCrop. Agron J. 101:477-478
7. English, M. J. 1995."Deficit irrigation". Analgtic frame work. ASCE. J. Irrig and drain. Eng. 116 (3): 399-412.
8. Hanks, R. J. 1983. Yield and water- use relationships. P. 393-411. In H.M. Taylor , W. R. Jordan, and T. R. Sinclair (ed). Limitation to efficient water use in crop production . ASA, CSSA, and ASSA, Madison, WI.
9. Heng, L., K. Hsiao, T. Evett, S. Howell, and P. Steduto. 2009. Validation the Fao AquaCrop model for irrigated and water deficient field Maize. Agron. J. 101:488-498.
10. Hsiao, T. C., P. Steduto, D. Raes, and E. 2008. AquaCrop- The FAO crop model to simulate yield response to water. III. Parameterization and testing for Maize. Agron J.101: 448- 459
11. Patel, N., P. Kumar, and N. Sign. 2008. Performance evaluation of AquaCrop in simulating Potato yield under varying water availability condition. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi- 110012, India.
12. Raese, D., S. Greet, M. Garcia-Vila, R. A. Miranda, J. Cusicanqui, C. Taboada, J. Mendoza, R. Huanca, J. Mamani, O. Candori, B. Morales, V. Osco, P. Steuto. 2009. Modelling the potential for closing Quania yield gaps. Elsevier ,J. Agriculture Water Management 96: 1652-16
13. Raes, D., P. Steduto, T. C. Hsiao, and E. Fereres. 2009. AquaCrop- The FAO crop model for predicting yield response to water :II. Main algoritms and software description . Agron. J.101:438-477
14. Smith, M. 1992. CROPWAT-A computer program for irrigation planning and management. FAO irrigation and drainage paper N0.46. FAO. Rome.
15. Steduto, P., T. C. Hsiao, D. Raes, and E. Fereres. 2009. AquaCrop- The FAO crop

- model to simulate yield response to water: Concepts and underlying principles. Agron. J. 101: 426-437
16. Tanner, C. B., and T. R. Sinclair. 1983. Efficient water use in crop production: Research p. 1-27. In H. M. Taylor, W. R. Jordan, and T. R. Sinclair (ed). Limitation to efficient water use in crop production. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
17. Todorovic, M., R. Albrizio, L. Zivotic, M. Therese Abi Saab, C. Stockle, and P. Steduto. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST Models in the simulations of Sunflower growth under different water regimes. Agron. J. 101:509-521