

ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم آبیاری گندم در منطقه کرج

حمزه علی علیزاده^{۱*}، بیژن نظری^۲، مسعود پارسى نژاد^۳، هادی رضانی اعتدالی^۴ و حمید رضا جانباز^۵

چکیده

در مناطق خشک و نیمه خشک کمبود آب همواره یکی از محدودیت‌های اصلی توسعه کشاورزی بوده و لذا ارتقای کارایی مصرف آب در این مناطق از اهمیت بسزایی برخوردار است. مدل‌هایی که اثرات مقادیر مختلف آب بر روی عملکرد محصول را به صورت کمی شبیه سازی می کنند، ابزارهایی مفید در مدیریت آب در سطح مزرعه و بهینه‌سازی کارایی مصرف آب می‌باشند. مدل AquaCrop که اخیراً توسط فائو بسط داده شده است، عملکرد محصول را بر اساس آب قابل استفاده تحت شرایط مختلف از جمله کم آبیاری شبیه‌سازی می‌کند. ارزیابی کارایی این مدل در هر منطقه و برای هر محصول ضروری است. از این رو در این مطالعه کارایی مدل AquaCrop در منطقه کرج و برای گیاه گندم ارزیابی شد. به این صورت که کارایی مدل در پیش بینی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم در شش تیمار آبیاری (تیمارهای ۱۰۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد نیاز آبی و تیمار تک آبیاری) مطالعه گردید. نتایج نشان داد که برای دور آبیاری ۷ روزه، مدل در پیش‌بینی مقدار عملکرد دانه، تبخیر و تعرق گیاهی (ET_c) و کارایی مصرف آب قابلیت خوبی داشته است، در حالی که کارایی مدل در پیش‌بینی این عوامل در دور آبیاری ۱۴ روزه کمتر بود. سادگی مدل AquaCrop، نیاز به اطلاعات ورودی کم و داشتن درجه دقت کافی آن را به عنوان مدلی مفید در تخمین عملکرد گیاه در شرایط آبیاری کامل یا کشت دیم، آبیاری تکمیلی، کم آبیاری و راهکارهای مدیریتی بهسازی کارایی مصرف آب در کشاورزی، معرفی می‌کند.

واژه های کلیدی: مدل AquaCrop، کارایی مصرف آب، کم آبیاری، تابع تولید

مقدمه

تغییرات عملکرد محصول به آب مورد استفاده قرار گرفته و بر همین اساس تلاش‌های زیادی برای بهینه کردن تخصیص منابع آب در سطوح منطقه‌ای صورت گرفته است. از میان روش‌های مبتنی بر این دیدگاه، واکنش عملکرد به آب در نشریه ۳۳ آبیاری و زهکشی فائو (دورنباس و کسام، ۱۹۷۹) قابل ملاحظه است. مدل زمان‌بندی آبیاری CROPWAT یکی دیگر از نرم افزارهای توسعه یافته توسط فائو است که کمبود آب را به همین روش شبیه‌سازی می‌کند (اسمیت، ۱۹۹۲).

برخی از مدل‌های زراعی متمایل به مقیاس تک-گیاه مانند مدل CERES (جونز و کینیری، ۱۹۸۶) و بعضی دیگر متمایل به مقیاس در سطح تاج پوشش گیاهان مانند مدل EPIC (ویلیامز و همکاران، ۱۹۸۹) و مشتقش ALMANAC (کینیری و همکاران، ۱۹۹۲) و CropSyst (استوکل و همکاران، ۲۰۰۳) هستند. بیشتر این مدل‌ها اغلب تصنعی بوده و استفاده از آنها مستلزم مهارت زیاد کاربر در واسنجی آنها بوده و نیاز به پارامترهای ورودی و تغییرپذیر زیادی دارد که بعضاً اندازه‌گیری آنها سخت می‌باشد و یا برای دامنه وسیعی از گونه‌های زراعی و مکان‌های مختلف دنیا غیر قابل دسترسی هستند. درک روابط آب-خاک-عملکرد از سال ۱۹۷۹ به طور محسوسی توسعه یافته است. این مسئله همراه با تقاضای شدید برای افزایش

با توجه به کاهش منابع آب، تغییرات اقلیمی و کاهش سهم بخش کشاورزی از آب موجود به علت رشد صنعت و جمعیت شهری، بهبود کارایی مصرف آب (WUE) مبتنی بر تولید بیشتر به ازای هر واحد آب مصرفی بسیار با اهمیت است. برای نیل به این هدف، آگاهی دقیق از رابطه بین مصرف آب و عملکرد محصول ضروری است. نظر به این که اثرات کمبود آب بر اساس شدت، مدت و زمان کاربرد متفاوت است، مدل‌سازی واکنش محصول به کمبود آب بسیار سخت و پیچیده است (هسیانو و همکاران، ۱۹۷۶؛ برادفورد و هسیانو، ۱۹۸۲). تلاش‌های اولیه برای درک این روابط منجر به یافتن روابط تجربی بین آب و عملکرد موسوم به تابع تولید آب شد (واکس و پریوت، ۱۹۸۳). توابع تولید به طور گسترده در تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران
(* نویسنده مسئول: Email: Alizadeh.hamzeh@gmail.com)

۲- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران

۳- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

۴- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران

۵- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه تهران

طریق مقایسه نتایج مدل با نتایج حاصل از مطالعات صحرایی جانباز بوده است. نتایج این ارزیابی می‌تواند در اتخاذ راهکارهای مدیریتی بهینه آبیاری گندم در شرایط اقلیمی کرج یاری رساند.

مواد و روش‌ها

تئوری مدل

مدل AquaCrop نیز مانند مدل CROPWAT از معادله دورنبوس و کسام (۱۹۷۹) (معادله (۱)) که در آن ET نسبی اساس محاسبه عملکرد می‌باشد، 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 واقعی، ET_x تبخیر و تعرق حداکثر، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و K_Y ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی تبخیر و تعرق می‌باشد. AquaCrop به وسیله الف) تفکیک تبخیر و تعرق (ET) به تعرق از سطح محصول (Tr) و تبخیر از سطح خاک (E)، ب) توسعه یک مدل ساده رشد و پیری تاج پوشش گیاهی بعنوان پایه برآورد Tr و تفکیک آن از تبخیر، ج) شبیه‌سازی عملکرد نهایی (Y) به عنوان تابعی از زیست توده نهایی (B) و شاخص برداشت (HI)، و د) تفکیک اثرات تنش آبی در چهار جزء: رشد پوشش تاجی، پیری پوشش تاجی گیاه، Tr و HI توسعه یافته است. تفکیک ET به Tr و E از اثر مصرف غیر تولیدی آب از طریق E به ویژه در شرایط پوشش گیاهی ناکامل جلوگیری می‌کند. تعرق روزانه (Tr_i) با استفاده از ET_0 روزانه و بهره‌وری آب (WP) گونه گیاهی که با استفاده از نیاز تبخیری و غلظت CO_2 اتمسفری نرمال شده به وزن قسمت هوایی گیاه تبدیل می‌شود. معادله زیر بیان ریاضی این رابطه می‌باشد:

$$B_i = WP \left(\frac{Tr_i}{ET_{0,i}} \right) \quad (2)$$

در این معادله WP بهره‌وری آب (زیست توده ناشی از هر واحد تعرق تجمعی) بوده که مقدار آن در شرایط اقلیمی مشابه ثابت و برابر است (هنکس، ۱۹۸۳؛ تتر و سینکلایر، ۱۹۸۳). با نرمال کردن مناسب WP برای شرایط اقلیمی متفاوت مقدار آن به یک پارامتر ثابت تبدیل خواهد شد (استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۷). بنابراین گام گذاشتن از معادله (۱) به معادله (۲) دلالت بر صحت و عمومیت مدل دارد. برتری دیگر معادله مورد استفاده در مدل AquaCrop (معادله (۲)) نسبت به معادله (۱) این است که شبیه‌سازی فرآیندهای رشد گیاه در آن با استفاده از گام‌های زمانی روزانه صورت می‌گیرد، در حالی که در معادله (۱) شبیه‌سازی به صورت ماهانه یا فصلی انجام می‌شود. در تمام دوره رشد گیاه، مقدار آب ذخیره شده در ناحیه ریشه از طریق بیلان آبی جریان آب ورودی (آبیاری و بارندگی) و خروجی (رواناب،

بهره‌وری آب به عنوان ابزار کنترل کم‌آبی، سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد (FAO) را به بازسازی و ارزیابی مجدد نشریه ۳۳ وادار کرد. این کار از طریق مشورت با متخصصان سازمان‌های مهم علمی، دانشگاهی و دولتی جهان انجام شد. این مشورت منجر به توسعه مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی واکنش محصولات زراعی به مقدار آب مصرفی شد. مدل AquaCrop با حفظ قابلیت‌های نشریه ۳۳، یک توازن منطقی بین سادگی، دقت، توانمندی و سهولت استفاده برقرار می‌کند. استخوان‌بندی فکری و اصول اساسی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی فرآیندها توسط استدیوتو و همکاران (۲۰۰۹) و الگوریتم مورد استفاده در نرم‌افزار مدل و توصیف عملیات توسط راس و همکاران (۲۰۰۹) ارائه شده است.

AquaCrop یک مدل فراگیر است، به این معنی که می‌تواند برای محدوده وسیعی از محصولات زراعی شامل علوفه‌ای، سبزیجات، غلات، میوه‌ای، روغنی و غده‌ای می‌تواند به کار رود. AquaCrop با فراهم کردن پارامترهای ثابت در مدل امکان استفاده برای کاربران مبتدی (آبیاران) را فراهم می‌کند. پارامترهای ثابت گیاهی برای گونه‌های اصلی زراعی از قبیل ذرت، گندم و پنبه به صورت آماده در مدل وجود دارد. در این مدل به منظور محاسبه تعرق و تفکیک تبخیر از سطح خاک با تعرق، به جای استفاده از شاخص سطح برگ^۱ از پوشش تاجی که سطح زمین را می‌پوشاند^۲ استفاده می‌شود.

نتایج مطالعه هسیائو و همکاران (۲۰۰۹) نشان داد مدل AquaCrop به صورت مناسبی پوشش تاجی، رشد وزنی زیست توده بخش هوایی و عملکرد دانه را برای چهار رقم ذرت در شش فصل رشد مختلف با تراکم، تاریخ کاشت و نیاز تعرقی مختلف با تیمارهای مختلف آبیاری (اعمال تنش تا زمان سنبله دهی، از زمان سنبله دهی به بعد، آبیاری یک در میان و آبیاری کامل) شبیه‌سازی کرده است. گاریسا-ویلا و همکاران (۲۰۰۹) نیز نشان دادند که مدل مزبور قادر بود عملکرد، رشد پوشش تاجی، زیست توده و کارایی مصرف آب را برای محصول پنبه به خوبی شبیه‌سازی کند. پارامترهای ثابت مدل تاکنون فقط برای ذرت آن هم به طور ناقص واسنجی شده‌اند. بنابراین مدل به واسنجی دقیق و گسترده برای همه گونه‌های گیاهی در سراسر دنیا دارد. در تحقیقات پیشین بعضی گونه‌ها شامل پنبه (فراهانی و همکاران، ۲۰۰۹) و گندم (به نقل از استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۹)، به طور مقدماتی واسنجی شده‌اند. برای واسنجی کامل مدل برای این محصولات به داده‌های اقلیمی و شرایط خاک مناطق مختلف جهان نیاز است.

هدف از این مطالعه ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی واکنش عملکرد گندم و کارایی مصرف آب (WUE) در اقلیم کرج از

- 1- Leaf Area Index (LAI)
- 2- Canopy crop

(K_{sat}) ، رطوبت حجمی اشباع (θ_{vsat})، رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی (θ_{VFC})، رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی (θ_{VPWP}) می‌باشند. بافت خاک مزرعه لومی، عمق خاک زراعی بین ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت اندازه‌گیری شد. رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی^۲ برابر با ۳۲/۲ درصد و در نقطه پژمردگی^۳، معادل ۱۶/۱ درصد (آب قابل دسترس خاک ۱۶۱ میلی‌متر در یک متر عمق خاک) به دست آمده است (جانبا، ۱۳۷۵).

پارامترها و داده‌های گیاهی

داده‌های مربوط به گیاه و روابط آن با وضعیت آب در خاک و نیاز تبخیری اتمسفر به وسیله تأثیرات تنش آب که با چهار عامل تأثیر تنش بر رشد تاج پوشش گیاهی، هدایت روزنه‌ای از طریق باز یا بسته نگه داشتن روزنه‌ها، پیری تاج پوشش گیاهی و شاخص برداشت بیان می‌شوند، متمایز هستند. داده‌های گیاهی ورودی شامل پارامترهای ثابت و داده‌های ویژه کاربر می‌باشند.

پارامترهای ثابت

مقادیر پارامترهای گیاهی ثابت برای اکثر گیاهان زراعی به عنوان پیش فرض در مدل وجود دارد. این پارامترها با گذشت زمان یا موقعیت جغرافیایی تغییر نمی‌کنند. این پارامترها با استفاده از داده‌های رشد گیاه در شرایط مطلوب و بدون محدودیت واسنجی شده‌اند و برای کاربرد آنها در شرایط وجود تنش آبی از طریق تأثیر ضریب پاسخ به تنش تعدیل می‌شوند. این پارامترها به عنوان پیش فرض در مدل و برای گونه‌های زراعی مهم (مانند گندم، ذرت و پنبه) وجود دارد. بنابراین در این مطالعه برای ارزیابی مدل AquaCrop از پارامترهای پیش فرض مدل استفاده شد. در مورد رقم‌ها فرض شده است که اختلاف رقم‌ها فقط در مراحل فنولوژیکی آنهاست. در حالی که به طور حتم اختلاف‌های دیگری به ویژه در مقاومت به تنش وجود دارند. با این وجود این اختلافات معمولاً کوچک بوده و انتظار می‌رود امکان به کارگیری که پارامترهای ثابت بدون واسنجی برای هر رقم وجود داشته باشد.

مقدار WP^* با استفاده از داده‌های نیاز تبخیری، مراحل فنولوژیکی و میانگین غلظت CO_2 در سال‌های ۱۹۹۲-۱۹۹۵، لحاظ شد [حد اکثر پوشش تاجی (CC_x) با استفاده از داده‌های تراکم کشت (۴۵۰۰۰۰۰ بونه در هکتار) تعدیل شد.

تنش بی بسته به نوع محصول و شدت و زمان تنش، شاخص برداشت را کاهش یا افزایش می‌دهد (هسیائو و همکاران، ۲۰۰۹؛ استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۹؛ هسیائو و همکاران، ۲۰۰۷). جلوگیری از

نفوذ عمقی و تبخیر و تعرق) در ناحیه ریشه شبیه‌سازی می‌شود. شدت ضرایب تنش آبی (K_s) موثر بر توسعه پوشش تاجی (CC)، هدایت روزنه‌ای تعرق (شدت تعرق در واحد CC)، پیری و کاهش پوشش تاجی و شاخص برداشت به وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. به علاوه بعضی جنبه‌های مدیریتی و عملکرد نهایی با تأکید بر آبیاری، سطوح حاصلخیزی خاک از طریق تأثیرات آنها بر توسعه رشد گیاه، بهره‌وری آب و تعدیل محصول به تنش‌ها بیان می‌شود. در پایان مقدار عملکرد با استفاده از جرم قسمت هوایی گیاه شبیه‌سازی شده و شاخص HI تعدیل شده محاسبه می‌گردد. در این مدل تأثیر تنش شوری و آفات و بیماری‌ها لحاظ نشده است.

اگرچه مدل AquaCrop بر مبنی فرآیندهای بیوفیزیکی پیچیده بنا نهاده شده است (استدیوتو و همکاران، ۲۰۰۹)، تعداد نسبتاً کمی از پارامترهای ساده و قابل دسترس به عنوان پارامترهای ورودی استفاده می‌شوند. ورودی‌های مدل شامل چهار دسته از اطلاعات یعنی: داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه‌ای می‌باشند.

داده‌های ورودی

داده‌های اقلیمی

مهمترین داده‌های اقلیمی مورد نیاز مدل عبارتند از داده‌های حداکثر و حداقل دمای روزانه، تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) و بارندگی.

مدل از داده‌های حداکثر و حداقل دمای روزانه برای محاسبه درجه روز رشد^۱ (GDD) به منظور تعدیل عملکرد زیست توده بر اثر خسارات ناشی از سرما، استفاده می‌کند (رائس و همکاران، ۲۰۰۹).

داده‌های دمای روزانه، مقدار بارندگی روزانه و همه اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه ET_0 از اطلاعات آماری سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۹۲ ایستگاه هواشناسی کشاورزی کرج واقع در ۲ کیلومتری مزرعه مذکور استخراج گردید.

ET_0 با استفاده از روش فائو-پنمن-مانتیت (آلن و همکاران، ۱۹۹۸) محاسبه گردید. میانگین سالیانه غلظت CO_2 برای سال ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۵ به صورت آماده در مدل (اندازه‌گیری شده در رصدخانه Mauna Loa در هاوایی تا سال ۲۰۰۹) وجود دارد. در مناطقی مانند ایران که توزیع بارندگی در اکثر مواقع بسیار نامنظم است، استفاده از داده‌های میانگین دراز مدت (ماهانه یا فصلی) برای بارندگی^۲ توصیه نمی‌شود.

داده‌های مربوط به خاک

داده‌های مورد نیاز خاک عبارت از هدایت هیدرولیکی اشباع

2 - Field Capacity

3 - Wilting Point

1 - Growing Degree Days

مذکور در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی کرج واقع در کیلومتر ۴ جاده کرج ماهدشت انجام گرفته که دارای طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی بوده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۳۲۱ متر می‌باشد.

این منطقه دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل است. میانگین ۳۸ ساله (دوره آمار هواشناسی) درجه حرارت سالانه ۱۳/۹ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال، دی ماه با متوسط دمای ۰/۸ سانتی‌گراد می‌باشد.

آزمایش‌های مزرعه‌ای به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با ۴ تکرار در ۴۸ کرت آزمایشی هر یک به مساحت (۲/۵ × ۳/۵) مترمربع انجام شد. تیمارهای آبیاری شامل تامین ۱۰۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار تک آبیاری و تیمارهای دور آبیاری شامل تامین نیاز آبی گیاه از طریق دور آبیاری ۷ و ۱۴ روزه می‌بود. برآورد مقدار آب آبیاری با استفاده از روش بلینی - کریدل و با استفاده از اطلاعات ۳۸ ساله ایستگاه هواشناسی واقع در مزرعه دانشکده کشاورزی صورت گرفت. در هر دو سال تحت مطالعه تاریخ کشت ۱۵ آبان ماه بوده است. اولین آبیاری در ۲۰ فروردین صورت گرفت. کلیه تیمارها و تکرارها به طور کامل و به میزان آب مورد نیاز برای رسیدن به ظرفیت زراعی که با اندازه‌گیری برابر با ۸۳ میلی‌متر مشخص شده بود آبیاری شدند. پس از آبیاری اول با توجه به دور ۷ یا ۱۴ روز و با توجه به نیاز آبی گیاه در فاصله دو آبیاری، آبیاری‌های بعدی تا ۲۱ خرداد صورت گرفت. برنامه ریزی آبیاری این طرح شامل زمان‌بندی و مقدار هر آبیاری برای تیمارهای مختلف در جداول ۲ و ۳ ارائه شده است. بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده مشخص شد شوری خاک به طور میانگین برابر با ۵/۳ dS/m می‌باشد.

رشد برگ اثر مثبت بر HI و بسته شدن روزنه‌ها اثر منفی بر HI دارد. در شرایط تنش آبی آستانه مقدار p (کسر قابل تخلیه آب خاک) برای اثر مثبت جلوگیری از رشد برگ بر HI عدد ۷ و برای اثر منفی بر HI عدد ۳ فرض شد. علاوه بر پارامترهای ثابت، دیگر اطلاعات مورد نیاز برای اجرای شبیه‌سازی اغلب وابسته به محصول زراعی بوده و کاربرد آنها برای شرایط مختلف مقادیر متفاوتی دارد. این پارامترها عبارتند از اطلاعات هواشناسی و خاک که تابع زمان، مکان، تراکم کاشت و آبیاری که ویژه مدیریت می‌باشند. برای اختصار، این پارامترهای ورودی به عنوان پارامترهای مخصوص کاربر نامیده شده‌اند.

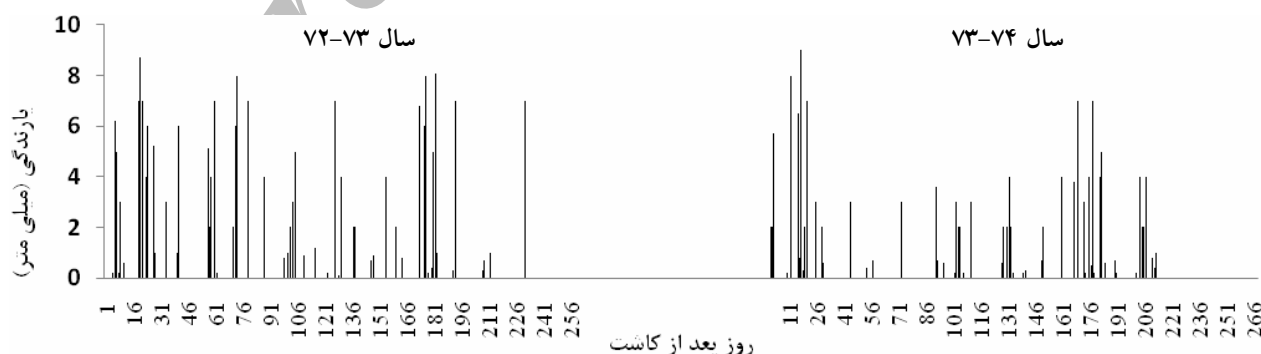
داده‌های و پارامترهای مخصوص کاربر

همه پارامترهای مربوط به مکان و پارامترهای ویژه گیاهی طرح از قبیل ویژگی‌های آب و خاک، حداکثر عمق ریشه، تراکم گیاه، زمان کاشت و مدیریت آبیاری در گروه پارامترهای مخصوص کاربر طبقه‌بندی می‌شوند. این پارامترها در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

تاریخ جوانه زنی^۱ عامل مهمی است که باید توسط کاربر به درستی وارد شود. تاریخ جوانه زنی علاوه بر شرایط رطوبتی خاک به عمق کاشت بستگی دارد. تاریخی که در آن ۹۰ درصد بذرها سبز می‌شوند به عنوان تاریخ ظهور پوشش تاجی لحاظ می‌شود (هنگ و همکاران، ۲۰۰۹). زمان شروع پیری نزدیک تاریخ رسیدگی فیزیولوژیکی است و برای یک گونه خاص به رژیم دمایی منطقه بستگی دارد. مدل قابلیت این را دارد که شروع زمان پیری و رسیدگی فیزیولوژیکی گیاه را با استفاده از درجه روز رشد حساب کند.

مدیریت مزرعه‌ای

در این تحقیق برای ارزیابی مدل AquaCrop از نتایج مطالعات جانباز (۱۳۷۵) که روی اعمال کم‌آبیاری گندم رقم قدس در دو سال زراعی ۷۲-۷۳ و ۷۳-۷۴ صورت گرفته بود، استفاده شد. مطالعات



شکل ۱- مقادیر بارندگی روزانه در دو سال زراعی

1 -emergence time

جدول ۱- پارامترهای گیاهی مربوط به مراحل فنولوژیکی گندم

تراکم کشت (بوته در هکتار)	سبز شدن	گل‌دهی	شروع پیری پوشش گیاهی	رسیدگی فیزیولوژیکی	حداکثر عمق ریشه	طول دوره گل‌دهی (روز)
۴۵۰۰۰۰	۱۷	۱۷۵*	۲۰۱*	۲۳۵	۱۵۱*	۱۳

*این پارامترها با استفاده از GDD حساب شده‌اند.

جدول ۲- برنامه‌ریزی آبیاری با دور آبیاری ۷ روز

زمان آبیاری	تیمار اول (۱۰۰٪ نیاز آبی)	تیمار دوم (۸۰٪ نیاز آبی)	تیمار سوم (۶۰٪ نیاز آبی)	تیمار چهارم (۴۰٪ نیاز آبی)	تیمار پنجم (۲۰٪ نیاز آبی)	تیمار ششم (تک آبیاری)
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
۲۰ فروردین	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳
۲۷ فروردین	۲۶	۲۱	۱۶	۱۱	۶	-
۳ اردیبهشت	۲۸	۲۳	۱۷	۱۲	۶	-
۱۰ اردیبهشت	۳۵	۲۸	۲۱	۱۴	۷	-
۱۷ اردیبهشت	۳۲	۲۶	۱۹	۱۳	۷	-
۲۴ اردیبهشت	۲۸	۲۳	۱۷	۱۲	۶	-
۳۱ اردیبهشت	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	-
۷ خرداد	۳۰	۲۴	۱۸	۱۲	۶	-
۱۴ خرداد	۲۳	۱۹	۱۴	۹	۵	-
۲۱ خرداد	۱۵	۱۲	۹	۶	۳	-
مجموع	۳۲۵	۲۷۹	۲۲۹	۱۸۲	۱۳۴	۸۳

جدول ۳- برنامه‌ریزی آبیاری با دور آبیاری ۱۴ روز

زمان آبیاری	تیمار اول (۱۰۰٪ نیاز آبی)	تیمار دوم (۸۰٪ نیاز آبی)	تیمار سوم (۶۰٪ نیاز آبی)	تیمار چهارم (۴۰٪ نیاز آبی)	تیمار پنجم (۲۰٪ نیاز آبی)	تیمار ششم (تک آبیاری)
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
۲۰ فروردین	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳	۸۳
۳ اردیبهشت	۵۳	۴۳	۳۲	۲۱	۱۱	-
۱۷ اردیبهشت	۶۶	۵۳	۴۰	۲۷	۱۳	-
۳۱ اردیبهشت	۵۳	۴۳	۳۲	۲۱	۱۱	-
۱۴ خرداد	۴۹	۳۹	۳۰	۲۰	۱۰	-
مجموع	۳۰۴	۲۶۱	۲۱۷	۱۷۲	۱۲۸	۸۳

(d) و یلموت (۱۹۸۲)، حداکثر خطا (ME)^۴ و ضریب باقیمانده (CRM)^۵ که به صورت زیر محاسبه می‌شوند، ارزیابی شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2} \times 100 / \bar{M} \quad (۳)$$

کارایی مصرف آب کل (TWUE) از تقسیم عملکرد در واحد سطح بر مجموع بارندگی و آب آبیاری و کارایی مصرف آبیاری (IWUE) از تقسیم عملکرد واحد سطح بر مقدار آب آبیاری محاسبه شد.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

کارایی مدل با استفاده از پارامترهای آماری ریشه‌دوم میانگین مربعات خطاها (RMSE)^۱، ضریب کارایی (E)^۲، شاخص سازگاری

1 - Root Mean Square Error

2 Coefficient of efficiency

3 Index of agreement

4 - Maximum Error

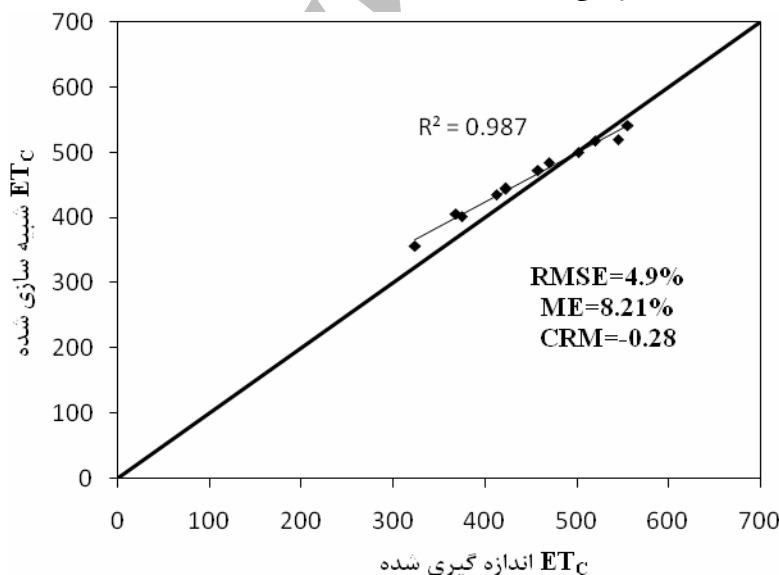
5 - Coefficient of Residual Mass

(ایتزینگر و همکاران، ۲۰۰۴ و سینگها، ۲۰۰۸). مقدار زیاد ME نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است. شاخص CRM نشانگر تمایل مدل برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها است. چنانچه تمامی مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص‌های CRM، ME، RMSE برابر با صفر و مقدار E و d برابر با ۱ خواهند بود.

نتایج و بحث

شبیه‌سازی ET: مقادیر ET_C محاسبه شده و برازش شده توسط مدل AquaCrop در شکل ۲ ارایه شده است. این نتایج نشان می‌دهد که مدل قادر است ET_C را با دقت نسبتاً مناسب (با میانگین مربعات خطاها (RMSE=4.9%) و حداکثر خطا (ME=8.21%)) شبیه‌سازی کند. مقدار CRM نمایانگر تمایل مدل به برآورد مقادیری بیشتر از مقدار اندازه‌گیری شده است. به دلیل این که تبخیر و تعرق مرجع ET_o در روش اندازه‌گیری مزرعه‌ای از فرمول بلینی-کریدل و در مدل از روش فائو-پنمن-مانتیت استفاده شد، اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده قابل پیش‌بینی بود.

همانطور که اشاره شد مدل AquaCrop قادر به تفکیک ET_C (آب مصرفی) به تعرق (Tr، آب مصرفی موثر) و تبخیر از سطح خاک (E) آب مصرفی غیر موثر می‌باشد. در شکل (۳) مقدار ET_C و E روزانه در طول فصل رشد (تیمار بدون تنش آبی) نمایش داده شده است.



شکل ۲- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده ET_C و مقادیر شبیه‌سازی شده آن توسط مدل

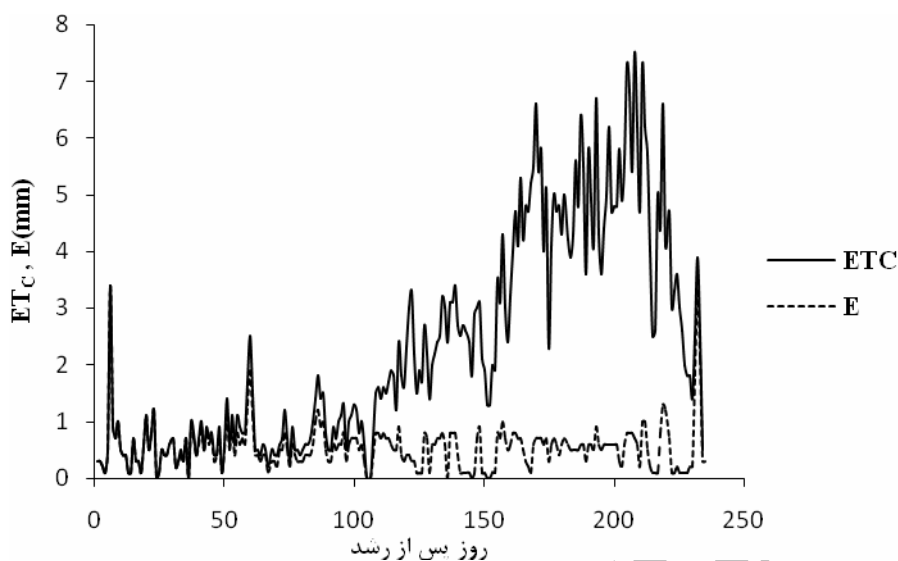
$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2} \quad (4)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{M}| + |M_i - \bar{M}|)^2} \quad (5)$$

$$ME = \text{Max} |S_i - M_i| \times 100 / \bar{M} \quad (6)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^n M_i - \sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n M_i} \quad (7)$$

که در آنها Si و Mi به ترتیب مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده، n تعداد مشاهدات و \bar{M} میانگین مقادیر Mi می‌باشد. RMSE مقادیر کلی یا میانگین انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که نمایش دهنده عدم اطمینان مطلق مدل می‌باشد. هرچه RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد عملکرد شبیه‌سازی مدل بهتر است. ضریب E بیانگر نسبت انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از اندازه‌گیری شده به انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از مقادیر میانگین می‌باشد. مقدار E بین $-\infty$ تا $+\infty$ متغیر است هرچه مقدار آن به یک نزدیکتر باشد مدل کارآتر است. d یک پارامتر توصیفی است که مقدار آن از $-\infty$ تا $+\infty$ تغییر می‌کند



شکل ۳- مقادیر شبیه‌سازی شده ET_c و E روزانه در طول فصل رشد توسط مدل

واکنش عملکرد گندم و نزدیکی مقادیر مدل با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد. در مواردی که CRM منفی است مدل مقدار عملکرد را بیشتر و در مواردی که مثبت است کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. شاخص سازگاری (d) در همه موارد نزدیک ۱ است که نشان دهنده سازگاری روند کاهش عملکرد با مقدار آب آبیاری در مدل با عملکرد واقعی است. همچنین شاخص تبیین (CD) بین نتایج مدل و نتایج مزرعه در دور آبیاری ۷ روزه کمترین مقدار و در دور آبیاری ۱۴ روزه در سال ۱۳۷۳ بیشترین مقدار را داشته است. این بدان معنی است که پراکندگی نتایج پیش‌بینی شده به وسیله مدل در دور آبیاری ۷ روز نسبت به دور آبیاری ۱۴ کمتر است.

کارایی مصرف آب: کارایی مصرف آب یکی از مهمترین شاخص‌های تعیین سطح آبیاری بهینه در شرایط کم آبیاری می‌باشد. کارایی مصرف آب کل ((آبیاری + بارندگی)) / عملکرد) شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده به همراه کارایی مصرف آبیاری (مقدار آبیاری / عملکرد) برای سطوح مختلف آب مصرفی در هر دو سال زراعی و هر دو دور آبیاری در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تنش خشکی ابتدا کارایی مصرف آب افزایش و سپس کاهش می‌یابد. نتایج مدل هم تقریباً چنین روندی را نشان می‌دهند. بیشترین کارایی مصرف آب از سطح آبی ۶۰ درصد نیاز آبیاری کامل حاصل شد. در حالی که نتایج به دست آمده از مدل بیشترین کارایی مصرف آب (میانگین دو سال) را از تیمار ۸۰ درصد نیاز آبی پیش‌بینی می‌کنند. بالا بودن TWUE در تک آبیاری در سال ۷۴ می‌تواند به دلیل بالا بودن میزان بارندگی در این سال و تامین آب مورد نیاز گیاه در طول فصل رشد از این طریق باشد.

نتایج نشان می‌دهد که در ابتدای فصل به علت کوچک بودن پوشش گیاهی تبخیر دارای سهمی بیشتر از ET_c است. این مسئله به نوعی اهمیت کاهش جزء تبخیر (E) در ابتدای فصل رشد را نشان می‌دهد که می‌تواند در مدیریت آب در مزرعه لحاظ شود.

عملکرد: مقادیر عملکرد اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای هر دو دور آبیاری سال زراعی ۷۳ و ۷۴ در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که مقدار عملکرد گندم در هر دو سال زراعی برای دور آبیاری ۷ روز بیشتر از دور آبیاری ۱۴ روز است. این اختلاف عملکرد را می‌توان به تخلیه بیش از حد آب و افزایش فشار اسمزی (با توجه به EC عصاره اشباع خاک معادل $5/3$ ds/m) در دور آبیاری ۱۴ روز مرتبط دانست. در نگاه اول و به عنوان یک نتیجه‌گیری کلی نتایج نشان می‌دهد که برای هر دو سال زراعی مدل قادر است مقدار عملکرد گندم با دور آبیاری ۷ روز را بهتر از دور آبیاری ۱۴ روز شبیه‌سازی کند. برای اطمینان از صحت چنین ادعایی نتایج با استفاده از شاخص‌های آماری یاد شده مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۵).

در مجموع همه شاخص‌های آماری نشان می‌دهند که مدل در دور آبیاری ۷ روز نسبت به دور آبیاری ۱۴ روز برآزش بهتری با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد. بیشترین خطای پیش‌بینی مدل (ME) در سال ۷۳ با دور آبیاری ۱۴ روز به مقدار $27/5$ درصد اتفاق افتاده است. مقدار RMSE برای تیمارهای با دور آبیاری ۷ روز در هر دو سال زراعی کمتر از حدود ۶ درصد است که نشان دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی این تیمارها دارد. مقدار CRM در بیشتر موارد نزدیک صفر بود که این نشان از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی

جدول ۴- مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده عملکرد گندم در دو سال زراعی

دور آبیاری (روز)	تیمارها	سال ۱۳۷۲-۳		سال ۱۳۷۳-۴	
		اندازه‌گیری شده (Kg/ha)	پیش‌بینی شده (Kg/ha)	اندازه‌گیری شده (Kg/ha)	پیش‌بینی شده (Kg/ha)
۷	آبیاری کامل	۶۱۹۸	۶۱۳۱	۶۵۷۰	۶۲۹۷
	٪ ۸۰ نیاز آبی	۵۴۴۶	۵۸۵۸	۶۲۶۳	۵۹۹۵
	٪ ۶۰ نیاز آبی	۵۳۶۲	۵۳۵۳	۶۱۷۰	۵۶۴۴
	٪ ۴۰ نیاز آبی	۴۱۲۹	۴۲۸۵	۴۹۰۵	۵۳۱۰
	٪ ۲۰ نیاز آبی	۳۴۲۷	۳۱۶۶	۴۴۶۸	۴۴۳۲
۱۴	آبیاری کامل	۵۲۰۸	۵۹۷۷	۵۹۳۷	۶۲۲۵
	٪ ۸۰ نیاز آبی	۴۹۶۳	۵۷۰۳	۵۸۱۱	۵۸۸۷
	٪ ۶۰ نیاز آبی	۴۱۴۴	۵۲۸۴	۵۳۸۸	۵۴۶۹
	٪ ۴۰ نیاز آبی	۳۴۹۳	۴۲۵۰	۴۷۱۶	۴۸۵۳
	٪ ۲۰ نیاز آبی	۳۰۰۲	۳۴۲۱	۳۸۱۳	۴۴۵۴
-	تک آبیاری	۲۱۲۰	۲۳۱۵	۳۳۹۱	۳۴۷۷

جدول ۵- مقدار شاخص‌های آماری برای تعیین قابل اعتماد بودن مدل برای هر دو دور آبیاری

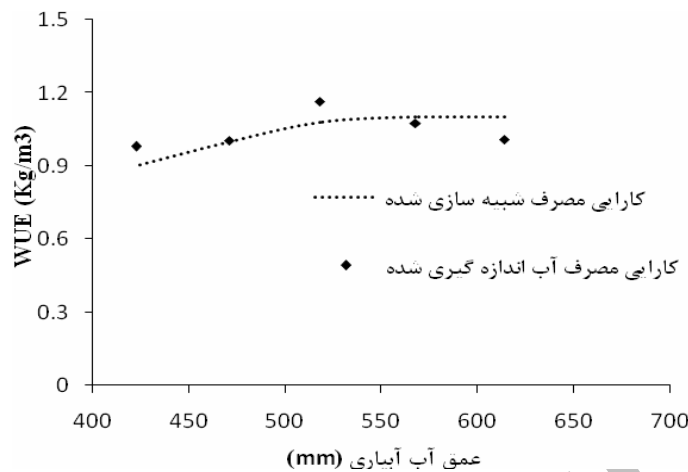
سال	دور آبیاری	ME%	RMSE%	d	EF	CRM	CD
۷۲-۳	۷ روز	۷/۵۶	۴/۷۵	۰/۹۹	-۰/۹۸	-۰/۰۴	۰/۰۱
	۱۴ روز	۲۷/۵	۱۹/۲	۰/۹۶	۰/۷۶	-۰/۹۲	۰/۲۳
۷۳-۴	۷ روز	۹/۲۷	۶/۰۵	۰/۹۸	۰/۹۶	-۰/۱۲	۰/۰۳
	۱۴ روز	۱۲/۴۸	۶/۳۱	۰/۹۸	۰/۹۵	-۰/۰۴	۰/۰۴

جدول ۶- TWUE و IWUE پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برای دو سال زراعی و دو دور آبیاری

دور آبیاری	تیمارها	سال ۱۳۷۲-۳			سال ۱۳۷۳-۴		
		IWUE (Kg/m ³)	Kg/m ³ (TWUE)		IWUE (Kg/m ³)	TWUE (Kg/m ³)	
			اندازه‌گیری شده	شبیه‌سازی شده		اندازه‌گیری شده	شبیه‌سازی شده
۷	آبیاری کامل	۱/۹۰	۱/۰۹	۱/۱۳	۲/۰۲	۱/۰۷	۱/۰۷
	٪ ۸۰ نیاز آبی	۱/۹۵	۱/۰۵	۱/۱۳	۲/۲۴	۱/۱	۱/۰۷
	٪ ۶۰ نیاز آبی	۲/۳۴	۱/۱۴	۱/۱	۲/۶۹	۱/۱۹	۱/۰۶
	٪ ۴۰ نیاز آبی	۲/۲۷	-۰/۹۷	-۰/۹۶	۲/۶۹	۱/۰۴	۱/۰۵
	٪ ۲۰ نیاز آبی	۲/۵۶	-۰/۹۱	-۰/۷۸	۳/۳۳	۱/۰۵	۰/۹۳
۱۴	آبیاری کامل	۱/۷۱	-۰/۹۵	۱/۱۵	۱/۹۵	۱/۰۰	۱/۰۹
	٪ ۸۰ نیاز آبی	۱/۹۰	-۰/۹۹	۱/۱۳	۲/۲۲	۱/۰۵	۱/۰۸
	٪ ۶۰ نیاز آبی	۱/۹۱	-۰/۹۰	۱/۱۱	۲/۴۸	۱/۰۷	۱/۰۷
	٪ ۴۰ نیاز آبی	۲/۰۳	-۰/۸۴	-۰/۹۷	۲/۷۴	۱/۰۲	۱/۰۰
	٪ ۲۰ نیاز آبی	۲/۳۴	-۰/۸۱	-۰/۸۴	۲/۹۸	-۰/۹۱	-۰/۹۴
-	تک آبیاری	۲/۵۵	-۰/۶۵	-۰/۶	۲/۵۵	-۰/۹۱	-۰/۸۰

گرفت که مدل در تنش‌های شدید و تیمار تک آبیاری مقدار کارایی مصرف آب را کمتر از داده‌های اندازه‌گیری شده و در شرایط آبیاری کامل و تنش‌های ملایم (تیمار ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی) کارایی مصرف آب را اندکی بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد.

برای بحث کلی در مورد روند دقت مدل، به دلیل این‌که روند تغییرات کارایی مصرف آب در دو سال زراعی بسیار با هم مشابه بود از آنها میانگین گرفته شد. شکل (۳) روند تغییرات کارایی مصرف آب با عمق آب آبیاری با داده‌های اندازه‌گیری شده و مدل Aquacrop را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۴) و جدول (۵) می‌توان چنین نتیجه



شکل ۴- روند تغییرات کارایی مصرف آب با آب آبیاری

نتیجه گیری

هدف فائو از توسعه مدل AquaCrop، فراهم کردن ابزاری برای کمک به طراحان، کشاورزان و مدیران کشت صنعتها جهت انتخاب مدیریت بهینه آبیاری در سیستم‌های مختلف کشاورزی موجود در سراسر جهان است. بنابراین ارزیابی و اعتبار بخشی مدل به ویژه برای محصولات استراتژیک ضروری است. نتایج این بررسی نشان داد که مدل AquaCrop قادر است مقدار عملکرد دانه، تبخیر و تعرق گیاهی (ET_c) و کارایی مصرف آب را در اکثر موارد به خوبی شبیه‌سازی کند. همچنین نتایج نشان داد در شرایطی که فشار اسمزی به دلیل کاهش رطوبت از حد قابل تحمل برای گیاه عبور کند، مدل قادر به شبیه‌سازی واکنش گیاه به تنش شوری نخواهد بود. بنابراین پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده پارامترهای ثابت گیاهی مدل از طریق تعریف ضریب تنش شوری در مدل (همانند ضریب K_s) نسبت به شوری و اسنجی شوند. مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد به آب قابل وصول نسبت به سایر مدل‌های شبیه‌سازی به تعداد پارامترهای ورودی کمتر و قابل وصول تری نیاز دارد. اما این سادگی باعث کاهش دقت و توانمندی مدل نشده است.

مراجع

- Drainage paper no. 56. FAO, Rome.
- Bradford, K.J., and T.C. Hsiao. 1982. Physiological responses to moderate water stress. p. 263–324. In O.L. Lange et al. (ed.) Physiological plant ecology. II. Water relations and carbon assimilation. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series. Vol. 12B. Springer-Verlag, New York.
- Doorenbos, J., and A.H. Kassam. 1979. Yield response to water. Irrig. and Drainage paper no. 33. FAO, Rome.
- Eitzinger, J., M. Trnka, J. Hösche, Z. Žalud, and M. Dubrovský. 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. Ecol. Model. 171:223–246.
- Farahani, H.J., G. Izzi, P. Steduto, and T.Y. Oweis. 2009. Parameterization and evaluation of AquaCrop for full and deficit irrigated cotton. Agron. J. 101:469–476.
- García-Vila, M., E. Fereres, L. Mateos, F. Orgaz, and P. Steduto. 2009. Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. Agron. J. 101:477–487.
- Hanks, R.J. 1983. Yield and water-use relationships. p. 393–411. In H.M. Taylor, W.R. Jordan, and T.R. Sinclair (ed.) Limitations to efficient water use in crop production. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Heng, L.K., S.R. Evett, T.A. Howell, and T.C. Hsiao. 2009. Calibration and testing of FAO AquaCrop model for maize in several locations. Agron. J. 101:488–498.
- Hsiao, T.C., E. Fereres, E. Acevedo, and D.W.

جانبا، ح. ر. ۱۳۷۵. مطالعه اثر تنش کم‌آبی و دور آبیاری بر عملکرد محصول گندم در منطقه کرج. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران. گروه آبیاری و آبادانی ص ۱۲۲.

Allen, R.G., L.S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrig. and

- program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46. FAO, Rome.
- Steduto, P., T.C. Hsiao, and E. Fereres. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrig. Sci.* 25:189–207.
- Steduto, P., T.C. Hsiao, D. Raes, and E. Fereres. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agron. J.* 101:426–437.
- Stockle, C.O., M. Donatelli, and R. Nelson. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *Eur. J. Agron.* 18:289–307.
- 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.) *Limitations to efficient water use in crop production*. ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.
- Vaux, H.J., Jr., and W.O. Pruitt. 1983. Crop-water production functions. *Adv. Irrig.* 2:61–97.
- Williams, J.R., C.A. Jones, and P.T. Dyke. 1989. EPIC—Erosion/productivity impact calculator. 1. The EPIC model. USDA-ARS, Temple, TX.
- Willmott, C.J. 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 63:1309–1313.
- Henderson. 1976. Water stress and dynamics of growth and yield of crop plants. p. 281–305. In O. L. Lange, L. Kappen, and E. D. Schulze (ed.) *Ecological Studies. Analysis and Synthesis. Water and Plant Life. Vol. 19.* Springer-Verlag, Berlin.
- Hsiao, T.C., L.K. Heng, P. Steduto, D. Raes, and E. Fereres. 2009. AquaCrop-Model parameterization and testing for maize. *Agron. J.* 101:448–459.
- Jones, J.W., and J.R. Kiniry (ed.) 1986. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M Univ. Press, College Station, USA.
- Kiniry, J.R., J.R. Williams, P.W. Gassman, and P. Debaeke. 1992. A general, process-oriented model for two competing plant species. *Trans. Of the ASAE* 35:801–810.
- Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao, and E. Fereres. 2009. AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agron. J.* 101:438–447.
- Singh, A.K., R. Tripathy, and U.K. Chopra. 2008. Evaluation of CERESWheat and CropSyst models for water-Nitrogen interactions in wheat crop. *Agric. Water Manage.* 95:776–786.
- Smith, M. 1992. CROPWAT—A computer

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۱۷

تاریخ پذیرش: ۸۹/۳/۴

Archive of SID

Evaluation of AquaCrop Model on Wheat Deficit Irrigation in Karaj area

H.A Alizadeh^{1*}, B.Nazari², M. Parsinejad³, H. Ramezani, Eetedali⁴, H.R. Janbaz⁵

Abstract

Water shortage has always been the main limiting factor of agricultural development in arid and semi-arid areas. Therefore, the improvement of the water use efficiency (WUE) has high importance in these areas. The simulation models of yield response to the water are expected to play an increasingly important role in the optimization of water productivity (WP) in agriculture. The AquaCrop model, which has recently been developed by FAO, predicts crop productivity, water requirement, and water use efficiency for different scenarios including water-limiting conditions. This model requires to be evaluated for different regions and crops. In this research the potential of AquaCrop model in simulating the yield response to water availability for wheat in Karaj climate was studied. For this reason, six irrigation treatments (20, 40, 60, 80 and 100% of the water requirement and single-irrigation) were studied. Results revealed that the model performed satisfactorily in simulation of grain yield, water use efficiency in all of the irrigation treatments with irrigation intervals of 7 days, but it was less satisfactory in simulating treatments with irrigation intervals of 14 days. In addition, results showed that the model didn't have a good performance when osmotic pressure of soil increased (when soil water content declined). However, the easiness of the AquaCrop model, the limited number of input parameters, and the sufficient degree of simulation accuracy make it a valuable model for estimating crop productivity under different irrigation water levels conditions, supplementary and deficit irrigation, and on-farm water management strategies for improving the efficiency of water use in agriculture.

Keywords: AquaCrop model, Water use efficiency, Deficit irrigation, Production function.

1 - Ms Student, Univ. of Tehran

(* - Corresponding Author Email: alizadeh.hamzeh@gmail.com)

2- PhD Student, Univ. of Tehran

3- Assistant Professor, Univ. of Tehran

4- PhD Student, Univ. of Tehran

5- Former Ms Student, Univ. of Tehran