مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۳۸۸، ص ۱۲۹-۱۱۹

Journal of Water and Soil
Vol. 23, No. 1, Spring 2009, p.119-129

ارزیابی مدل CROPWAT در مدیریت کم‌آبیاری گندم و جو در منطقه کرج

هادی رمضانی اعتدالی[۱]- بیژن نظری[۲] - علیرضا توکلی[۳] - مسعود پارسی نژاد[۴*]

تاریخ دریافت: ۸۷/۴/۲۹
تاریخ پذیرش: ۸۷/۱۱/۲۱

چکیده

کم‌آبیاری شیوه‌ای است که در آن افزایش کارآیی مصرف آب با کاهش کفایت آبیاری به‌دست می‌آید. در این تحقیق توانایی مدل CROPWAT در مدیریت کم‌آبیاری برای دو محصول گندم و جو در اقلیم کرج بررسی شده است. در این راستا شاخص‌های ارزیابی مدل شامل مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE1) و ضریب باقیمانده (CRM2) محاسبه گردید و مقادیر آنها به ترتیب در محدوده ۹/۸ تا ۱۷/۲ درصد و ۰/۳۲ تا ۰/۵۱ بود که نشان‌گر این است که درصد کاهش عملکرد را کمتر از نتایج واقعی برآورد می‌کند. مقادیر منفی به‌دست آمده برای شاخص کارآیی مدل‌سازی (EF3) در هر دو محصول برای دور آبیاری ۱۴ روزه بیانگر ناکارآمدی مدل در پیش‌بینی کاهش عملکرد در دور آبیاری ۱۴روزه است. از محدودیت‌های اساسی مدل CROPWAT این است که این مدل تنها اثر تنش خشکی را در پیش‌بینی عملکرد در نظر می‌گیرد و اثرات تنش‌های دیگر مانند شوری را نادیده می‌گیرد. این مطالعه نشان می‌دهد که کاربرد مدل CROPWAT بدون کالیبره کردن ضرایب گیاهی و خصوصیات خاک می‌تواند خطاهای قابل توجه‌ای داشته باشد و در استفاده از این مدل باید احتیاط نمود. در این مطالعه کارآیی مصرف آب در گیاهان مورد مطالعه در محدوده ۱/۳ تا ۲/۳ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمده است و حداکثر مقادیر آن مربوط به تیمار کم‌آبیاری ۲۰ درصد نیاز آبی می‌باشد. اعمال مدیریت مناسب کم‌آبیاری می‌تواند نقش قابل‌توجهی در ارتقای کارآیی مصرف آب داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: کارآیی مصرف آب،کاهش عملکرد، تابع عملکرد،CROPWAT

مقدمه

در حالی‌که در گذشته در تأمین آب کشاورزی محدودیت اساسی وجود نداشت و در طراحی و تبیین برنامه آبیاری، کمتر موردی وجود داشت که رطوبت موجود به عنوان بزرگترین عامل بازدارنده زراعی مطرح شده باشد، اما امروزه با افزایش روزافزون تقاضا برای مصارف آب شهری و صنعتی، سهم تخصیص یافته آب به بخش کشاورزی که مصرف‌کننده عمده آب می‌باشد، به سرعت رو به کاهش است. بنابراین از مدیریت‌های اساسی در بخش کشاورزی فراهم آوردن شرایطی است که محصول در برابر آب مصرفی به حداکثر برسد. به عبارت دیگر، تغییرات اساسی در مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری لازم است تا کارآیی مصرف آب[۷] همین مقدار آب اختصاص یافته به بخش کشاورزی بهینه شود و این مسأله نیازمند ابتکار و نوآوری می‌باشد (۱۵).

در راستای افزایش و بهبود کارآیی مصرف آب، توجه روزافزونی به اعمال مدیریت کم آبیاری مشاهده می‌شود. کم آبیاری روشی است که در آن میزان مصرف آب آبیاری، نسبت به سطوح آبیاری کامل کاهش می‌یابد و یک تنش رطوبتی ملایم که حداقل تأثیر سوء را بر تولید محصولات زراعی داشته باشد اعمال می‌شود. در شرایط خشکسالی و کم آبی، تکنیک کم آبیاری[۸] می‌تواند با تولید حداکثری محصول به‌ازای هر واحد آب آبیاری، سبب افزایش سود اقتصادی محصول شود. هدف اساسی کم آبیاری، افزایش راندمان مصرف آب با افزایش کفایت آبیاری است (۶ و ۱۴).

تحقیقات کار و ورنا نشان داد افزایش مقدار آبیاری هرچند سبب افزایش محصول در ذرت شده، اما میزان کارآیی مصرف آب در آبیاری کامل نسبت به تیمارهای کم‌آبیاری افزایش نیافت و حتی کمتر نیز شد، به این دلیل که افزایش مصرف آب گیاه در نتیجه افزایش مقدار آبیاری ارتباطی با افزایش محصول ندارد (۱۳).

در بررسی اثر کم‌آبیاری در ذرت، کارآیی مصرف آب از ۱/۲۴ تا ۱/۴۷ کیلوگرم بر متر مکعب گزارش شده است. از دلایل افزایش کارآیی مصرف آب در ذرت، می‌توان به افزایش شاخص سطح برگ، کاهش تبخیر نسبت به تعرق، کاهش ماده خشک ریشه و کاهش تعرق اشاره کرد (۱۲).

اعمال مدیریت سیستم‌های آبیاری و از جمله استفاده از روش کم آبیاری در جهت دسترسی به بیشترین مقدار سود، مستلزم آگاهی از

۱و۲ - دانشجویان کارشناسی ارشد مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران
۳- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشگاه تهران
۴- استادیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
(* - نویسنده مسئول: E-mail: parsinejad@ut.ac.ir)

4 -Root Mean Square Error
5 -Coefficient of Residual Mass
6 -Modeling Efficiency
7 -Water Use Efficiency (WUE)
8 -Deficit irrigation

عوامل متعدد فیزیکی، بیولوژیکی و اقتصادی مؤثر در تولید محصول است. طی سی سال گذشته، در تدوین و ارائه مدل‌های رشد گیاهی پیشرفت قابل توجهی ایجاد شده است. علاوه بر اینکه این مدل‌ها قادر به پیش بینی رشد گیاهان و تولید محصول در قبال مقادیر مختلف آبیاری هستند، در عین حال بسیاری از این مدل‌ها برای شرایط محدودیت آب و بررسی مدیریت آبیاری نیز توسعه داده شده‌اند. از این جمله نرم‌افزار CROPWAT را می‌توان یک ابزار کاربردی دانست که با استفاده از آن می‌توان محاسبات استاندارد برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، نیاز آبی گیاه و مدیریت برنامه آبیاری را به سهولت انجام داد (۱۰).

مدل CROPWAT که توسط بخش توسعه آب و خاک FAO نوشته شده است، یک مدل ساده بیلان آب است که امکان شبیه‌سازی تنش رطوبتی روی گیاه و محاسبه میزان کاهش محصول را بر پایه روش‌های مدون برآورد تبخیر و تعرق و عکس‌العمل گیاه به تنش آبی میسر می‌سازد (۷، ۸ و ۱۷).

به منظور بررسی قابلیت مدل CROPWAT در مدیریت کم آبیاری، یک مطالعه موردی در «پروژه تحقیقاتی مشترک FAO/IAEA» با استفاده از تکنیک‌های مرتبط در تخمین برنامه آبیاری گیاهان زراعی به منظور افزایش کارآمدی مصرف آب در پروژه‌های آبیاری در ترکیه، مراکش و پاکستان، به ترتیب بر روی پنبه، چغندرقند و سیب‌زمینی انجام شد. نتایج نشان داد که مدل در پیش‌بینی اثرات کم آبیاری کارآمدی لازم را داراست ولی پارامترهای گیاهی مورد استفاده در مدل می‌بایست کالیبره شوند. به طور مثال مقادیر ضرایب گیاهی پنبه موجود در مدل CROPWAT هم‌خوانی کافی با مقادیر اندازه‌گیری شده (ترکیه) نداشتند و در نتیجه نیاز به کالیبراسیون آنها در مدل وجود داشت. میزان کاهش محصول محاسبه شده و اندازه‌گیری شده در مورد چغندرقند حدوداً یکسان بود ولی به طور کلی کاهش عملکرد پیش‌بینی شده توسط مدل، در مورد پنبه، چغندرقند و سیب‌زمینی مقداری کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بود. به طور کلی CROPWAT می‌تواند به شکل مناسب مقادیر کاهش محصول در اثر کم آبیاری را تخمین بزند. در عین حال لازم است که مقادیر استاندارد موجود در مدل به شکل مطلوب و رضایت‌بخش کالیبره شوند (۱۷).

نتایج به‌دست آمده از مطالعه‌ای در تایوان بر روی کشت برنج نشان داد که مدل CROPWAT به طور موثر و کارآمد، قادر به برآورد نیاز آبی گیاهان بود اما هنوز برای انطباق مدل با الگوهای کشت پیچیده نیاز به مطالعات بیشتر احساس می‌شود. البته وجود داده‌های کامل و صحیح برای اجرای مدل‌های مدیریتی آبیاری مانند CROPWAT ضروری می‌باشد (۱۶).

مدل CROPWAT ابزار مناسبی برای برنامه‌ریزی کشت ذرت محسوب می‌شود اما به دلیل عدم انطباق مقادیر تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده، می‌بایست نتایج برآورد کاهش محصول مدل نیز با تأمل و احتیاط مورد پذیرش قرار گیرد (۵).

نتایج اسماعیلی در ارزیابی مدل CROPWAT در مدیریت کم - آبیاری ذرت در دو منطقه شهرکرد و قزوین نشان داد که تخمین مدل در تعیین نیاز آبیاری نسبت به عملکرد ماده خشک و نیز عملکرد ماده خشک نسبت به عملکرد دانه بهتر بوده است. ایشان بیان داشتند مدل به طور کلی در شبیه‌سازی نتایج مزرعه شهرکرد نسبت به مزرعه قزوین عملکرد بهتری داشته و این به دلیل مدیریت بهتر طرح آزمایشی و اندازه‌گیری‌ها در مزرعه شهرکرد بوده است (۱).

هدف از انجام این تحقیق بررسی توانایی مدل CROPWAT در برآورد عملکرد دو محصول گندم و جو تحت مدیریت کم‌آبیاری در اقلیم کرج از طریق مقایسه نتایج مدل با نتایج حاصل از مطالعات صحرایی بوده است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای ارزیابی مدل CROPWAT از نتایج مطالعات شیخ‌حسینی و جانباز که بر روی دو گیاه گندم و جو و اعمال کم‌آبیاری در دو سال زراعی ۷۳-۷۲ و ۷۴-۷۳ صورت گرفته بود استفاده شد (۲ و ۴). مطالعات آنها 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. برای دوره آماری ۳۸ساله هواشناسی (۱۳۷۲-۱۳۳۴)، میانگین درجه حرارت سالانه ۱۳/۹ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال، دی ماه با متوسط دمای ۰/۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

بافت خاک زراعی لومی بوده و ۶۰ تا ۹۰ سانتیمتر عمق دارد. رطوبت حجمی خاک در ظرفیت زراعی[1] برابر با ۳۲/۲ درصد و در نقطه پژمردگی[2]، ۱۶/۱ درصد است (پس آب قابل استفاده در این خاک ۱۶۱ میلیمتر در یک متر عمق خاک است). همچنین بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده مشخص شد شوری خاک به طور میانگین برابر با ۵/۳ dS/m می‌باشد.

مطالعات انجام شده در قالب ۴۸ کرت آزمایشی، هریک به مساحت (۳/۵ *۲/۵) مترمربع برای ۶ تیمار و ۴ تکرار در دو دور آبیاری ۷ و ۱۴ روز در نظر گرفته شده بود. طرح آماری برای هر دور آبیاری، بلوک‌های کاملاً تصادفی در ۴ تکرار بود. تیمارها شامل تامین کل نیاز آبی گیاه و تامین ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد نیاز آبی گیاه و تیمار تک آبیاری[3] در ۲۰ فروردین قبل از اعمال تنش بود. در محاسبه و تامین مقدار آب آبیاری مراحل زیر دنبال شده است:

1 -Field Capacity
2 -Wilting Point

۱ – منظور از تیمار تک آبیاری، تیماری است که در طول دوره رشد گیاه فقط یک نوبت آبیاری در تاریخ ذکر شده وجود داشته است.

- محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل (ETo) با روش بلینی کریدل (۲ و ۴).
- محاسبه ضرایب گیاهی (Kc) گیاهان مورد مطالعه در مراحل مختلف رشد (۲ و ۴).
- محاسبه تبخیر و تعرق واقعی گیاه (ETa = Kc. ETo).
- محاسبه بارش موثر (Pe) به روش SCS (۲ و ۴).
- محاسبه نیاز آبیاری (In = ETc-Pe).
- تامین آب آبیاری کرت‌های آزمایشی به وسیله یک لوله پلی اتیلنی و با یک کنتور دبی.

واریته‌های کشت شده برای جو و گندم به ترتیب والفجر و قدس بوده است. برای هر دو گیاه و در هر دو سال تحت مطالعه تاریخ کشت ۱۵ آبان ماه بوده است. اولین آبیاری در تاریخ ۲۰ فروردین صورت گرفت. کلیه تیمارها و تکرارها به طور کامل و به میزان آب مورد نیاز برای رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی آبیاری می‌شد که برابر با ۸۳ میلیمتر مشخص شده بود آبیاری شدند. پس از آبیاری اول با توجه به دور ۷ یا ۱۴ روزه 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 ۱ و ۲ آورده شده است.

(جدول ۱)- برنامه‌ریزی آبیاری برای دو محصول گندم و جو در دور آبیاری ۷ روز برای ٦ تیمار مختلف تامین آب

زمان آبیاری	تیمار اول (۱۰۰٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار دوم (۸۰٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار سوم (٦۰٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار چهارم (٤۰٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار پنجم (۲۰٪ نیاز آبی) (mm)	تمار ششم (تک آبیاری) (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

(جدول۲)- برنامه‌ریزی آبیاری برای دور آبیاری ١٤ روز برای هر دو محصول گندم و جو برای ٦ تیمار

زمان آبیاری	تیمار اول (۱۰۰٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار دوم (۸۰٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار سوم (٦۰٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار چهارم (٤۰٪ نیاز آبی) (mm)	تیمار پنجم (۲۰٪ نیاز آبی) (mm)	تمار ششم (تک آبیاری) (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

در این تحقیق، برآورد نیاز آبی و مدیریت آبیاری گیاهان با استفاده از مدل CROPWAT 8.0 تحت ویندوز انجام شد. در جدول ۳ اطلاعات ورودی مدل CROPWAT ارائه شده است.

برای محاسبه کارآیی مصرف آب (WUE) عملکرد در واحد سطح بر مجموع آب آبیاری و بارندگی در واحد سطح تقسیم شد. شاخص کارآیی مصرف آب می‌تواند برای تعیین بهترین تیمار کم-آبیاری شاخص مناسبی باشد. به علت آنکه بارندگی در میزان محصول در تیمارهای آبیاری و دیم بسیار تاثیرگذار است، میزان آن در محاسبه WUE وارد شد (۳).

(جدول۳)- اطلاعات ورودی مدل CROPWAT

اطلاعات	توضیحات
اطلاعات اقلیمی (دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی، سرعت باد و ساعات آفتابی)	آمار ۳۸ ساله ایستگاه هواشناسی مزرعه دانشکده کشاورزی.
بارندگی موثر	از آمار بارندگی ۳۸ ساله و بر اساس روش SCS.
اطلاعات گیاه	تاریخ کشت گیاه: ۱۵ آبان. طول هر دروه رشد گیاه: به ترتیب طول دوره‌های رشد اولیه، توسعه، میانی و انتهایی رشد ۱۵، ۱۰۰، ۶۳ و ۲۸ روز بوده است. ضرایب گیاهی: به ترتیب برای دوره‌های رشد اولیه، توسعه، میانی و انتهایی رشد ۰/۴، ۰/۶، ۱/۲ و ۰/۳ بوده است. ضرایب کاهش عملکرد : مطابق مقادیر توصیه مدل.
اطلاعات خاک	بافت خاک: لومی. عمق ریشه: ۶۰ تا ۹۰ سانتیمتر. مقدار آب قابل استفاده در خاک: ۱۶۱ میلیمتر در یک متر عمق خاک. درصد کمبود رطوبت اولیه خاک نسبت به حالت FC : ۸۶/۳ درصد.
اطلاعات مدیریت آبیاری	اطلاعات زمان و مقدار آب آبیاری: مشابه جداول ۱ و ۲.

برای ارزیابی قابل اعتماد بودن مدل از تحلیل خطاهای باقیمانده و اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده استفاده شد. شاخص‌های آماری[1] لازم برای این کار عبارتند از:

- حداکثر خطا (ME)[2]

$$ME = Max|P_i - Q_i|_{i=1}^{n}$$

- مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{n}\right]^{1/2}$$

- ضریب تبیین (CD)[3]

$$CD = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2}$$

- کارآیی مدل‌سازی (EF)

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2 - \sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \overline{Q})^2}$$

- ضریب باقیمانده (CRM)

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} Q_i}$$

که در آنها Pi مقادیر پیش‌بینی شده، Qi مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد نمونه‌های به کار رفته، $\overline{Q}$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد.

حداقل مقدار ME، RMSE و CD صفر است. حداکثر مقدار EF برابر با یک می‌باشد. EF و CRM می‌توانند مقادیری منفی داشته باشند. مقدار زیاد ME نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است در حالی‌که RMSE نشان می‌دهد که برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد مدل در مقایسه با مشاهدات (اندازه‌گیری‌ها) چقدر است. شاخص CD نسبت پراکندگی[4] را بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. مقدار شاخص EF، مقادیر پیش‌بینی‌ها را با میانگین اندازه‌گیری‌های مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده، برآوردی بهتر از مقادیر پیش‌بینی شده دارد. 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 RMSE، ME، CRM برابر با صفر و مقدار CD و EF برابر با ۱ خواهد بود (۱۱).

در این تحقیق تمام شاخص‌های آماری فوق برای مقایسه مقادیر درصد کاهش عملکرد واقعی مشاهده شده در مطالعه صحرایی و مقادیر درصد کاهش عملکرد پیش‌بینی شده به وسیله مدل برای هر دو محصول و دور آبیاری متفاوت محاسبه گردیده است.

1 - Statistics
2 - Maximum Error
3 - Coefficient of Determination
4 - Scatter Ratio

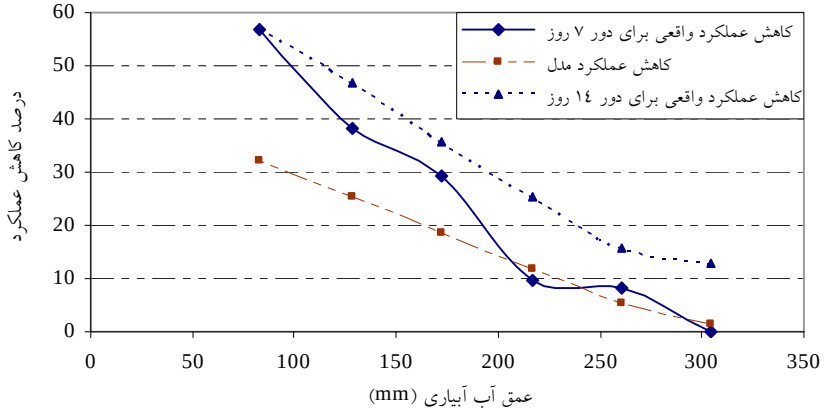
نتایج و بحث

مقایسه نتایج حاصل از پیش‌بینی مدل CROPWAT با نتایج واقعی که از دو سال زراعی ۷۳ و ۷۴ به‌دست آمده بود نشان می‌دهد که مدل کاهش عملکرد گندم و جو حاصل از اعمال کم آبیاری را کمتر از مقادیر واقعی پیش‌بینی می‌کند (شکل ۱و۲). به عبارت دیگر مدل CROPWAT عملکرد را در شرایط کم آبی بیشتر از مقادیر میانگین عملکرد در دو سال زراعی برآورد می‌کند. علاوه بر این کاهش عملکرد را برای گندم و جو یکسان نشان داد. تخمین بیشتر عملکرد در مدل می‌تواند به چندین عامل مرتبط باشد.

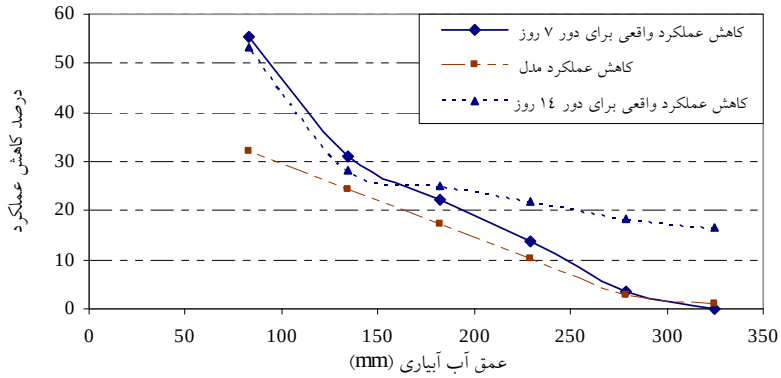
تنها عاملی که در مدل باعث کاهش عملکرد می‌شود، تنش خشکی است. این مدل اثر دیگر تنش‌ها مانند تنش شوری را لحاظ نمی‌کند. در این تحقیق با توجه به آنکه خاک مزرعه دارای شوری حدود ۵/۳ بود، شوری تنش آبی را تشدید کرده است. این موضوع به طور آشکاری در شکل‌های ۱ و ۲ مشخص است. با افزایش کم‌آبیاری و تامین کمتر آب در هر دو دور آبیاری، تقریباً دقت مدل در تخمین کاهش عملکرد کاهش پیدا کرده است و تفاوت نتایج مزرعه و مدل بیشتر می‌شود. این موضوع در مورد جو که گیاه مقاوم‌تری نسبت به گندم نسبت به شوری است، کمی ملایم‌تر است. یعنی نتایج مدل برای جو و نتایج مزرعه هم‌خوانی بیشتری دارد. علاوه بر این، مقادیر گیاهی که در مدل وجود دارند نیز یکی از اصلی‌ترین عوامل خطا در پیش‌بینی مدل می‌باشند. این موضوع در تحقیقات مشابه نیز بیان گردیده است که چند نمونه از آنها در مقدمه بیان شد (۱۶ و ۱۷)، لذا ضرایب گیاهی مدل، قبل از استفاده از مدل باید کالیبره شوند.

همچنین مدل CROPWAT اثر دور آبیاری بر عملکرد را به طور مناسبی نسبت به نتایج مزرعه نشان نمی‌دهد. مدل، کاهش عملکرد را نسبت به کاهش عمق آب مورد نیاز برآورد می‌کند و اثر دور آبیاری بر عملکرد را بیان نمی‌دارد. در صورتی که نتایج مزرعه هرچند نیاز آبی برای هر دو دور آبیاری تامین شده، متفاوت است. کاهش عملکرد برای دور آبیاری ۷ روز در تیمارها نسبت به دور ۱۴ روز کمتر بوده است و این در حالی است که مدل، کاهش عملکرد را برای دو دور آبیاری یکسان نشان می‌دهد. علت این مسئله را می‌توان چنین بیان کرد که مدل، عملکرد گیاه را با توجه به مقدار آب داده شده به زمین در هر مرحله از رشد پیش بینی می‌کند، فارغ از اینکه این مقدار آب داده شده در چند نوبت داده شده باشد. این مسئله نیز می‌تواند از محدودیت های مدل در پیش بینی عملکرد گیاه باشد. شکل ۱ نشان می‌دهد که مدل CROPWAT در تخمین درصد کاهش عملکرد برای دور آبیاری ۷ روز بسیار بهتر از دور ۱۴ روز عمل کرده است. این نتیجه در حالتی که آبیاری کامل در دو دور آبیاری ۷ و۱۴ روز صورت گرفته مشهودتر است. اختلاف نتایج مدل با نتایج دور آبیاری ۱۴ روز می‌تواند به نوع خاک بستگی داشته باشد. خاک مزرعه متوسط بوده و ظرفیت نگهداری رطوبت پایینی برای دور آبیاری ۱۴ روز دارد.

برای ارزیابی قابل اعتماد بودن نتایج حاصل از پیش‌بینی‌های مدل، از شاخص‌های آماری لازم برای مقایسه با مقادیر واقعی صحرایی استفاده شد. نتایج این آنالیزها در جدول ۴ آورده شده است. همانگونه که در جدول مشخص است بیشترین خطا (ME) در پیش-بینی مدل برای گندم ۱۴ روزه است. این موضوع بیانگر این واقعیت است که علاوه بر تنش کم‌آبی تا حدی تنش شوری به گیاه اعمال شده که در مدل لحاظ نشده است (به دلیل سطح بالای املاح موجود در خاک (شوری ۵/۳ dS/m)). در واقع چون مقاومت گیاه جو نسبت به شوری در مقایسه با گندم بیشتر است تنش شوری تاثیر کمتری بر روی عملکرد گیاه جو داشته و اختلاف بین کاهش واقعی عملکرد و مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله مدل، برای این محصول کمتر از گندم است. برای کلیه تیمارهای کم‌آبیاری با توجه به مقادیر RMSE، مدل، میزان کاهش عملکرد را به مراتب کمتر از مقادیر واقعی نشان می‌دهد.



(شکل۱)- درصد کاهش عملکرد گندم نسبت به عمق آب آبیاری در تیمارهای مختلف برای دور آبیاری ۷ و ۱۴ روز



(شکل۲)- درصد کاهش عملکرد جو نسبت به عمق آب آبیاری در تیمارهای مختلف برای دور آبیاری ۷ و ۱٤ روز

شاخص تبیین (CD) بین نتایج مدل و نتایج مزرعه نیز در گیاه جو و با دور آبیاری ۷ روزه کمترین مقدار را داشته و در گیاه گندم و با دور آبیاری ۱۴ روزه بیشترین مقدار را داشته است. این بدان معنی است که پراکندگی نتایج پیش‌بینی مدل و نتایج مزرعه در مقادیر درصد کاهش عملکرد در جو با دور آبیاری ۷ روز دارای کمترین پراکندگی و در گندم با دور آبیاری ۱۴ روز دارای بیشترین پراکندگی است.

مقدار شاخص EF برای جو با دور آبیاری ۷ روز برابر با ۰/۷۲ است. این نشان‌دهنده بهترین پیش‌بینی مدل برای این حالت نسبت به دیگر حالات است. مقادیر منفی EF بیانگر ناکارآمدی مدل در پیش‌بینی برای دور آبیاری ۱۴ روز در هر دو محصول است.

شاخص ضریب باقیمانده (CRM) بین نتایج مدل و نتایج مزرعه در تمامی تیمارها مقادیری مثبت داشته است که نشانگر این مطلب است که مدل، درصد کاهش عملکرد را برای تمامی حالات کمتر از شرایط واقعی پیش‌بینی کرده است. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد که مدل تمایل به برآورد کمتر در مورد تخمین درصد کاهش عملکرد دارد. به عبارتی مدل در تخمین کاهش عملکرد چندان قابل اعتماد نبوده و باید در کاربرد مدل به خصوص در شرایط شور محتاطانه عمل کرد.

(جدول ٤)- مقدار شاخص‌های آماری برای تعیین قابل اعتماد بودن مدل برای هردو محصول و دور آبیاری

محصول	دور آبیاری	ME (درصد کاهش محصول)	RMSE (درصد کاهش محصول)	CD	EF	CRM
گندم	۷ روز	۲۴/۶۰	۱۲/۷۰	۰/۴	۰/۵۸	۰/۳۲
	۱۴ روز	۲۴/۸۰	۱۷/۲۰	۱/۲	-۰/۱۵	۰/۵۱
جو	۷ روز	۲۲/۵۴	۹/۸۸	۰/۲۸	۰/۷۲	۰/۴۸
	۱۴ روز	۲۰/۶۰	۱۲/۸۳	۱/۰۸	-۰/۰۸	۰/۵۰

تعیین بهترین تیمار کم‌آبیاری برای شرایطی که کمبود آب وجود داشته باشد، استفاده از شاخص کارآیی مصرف آب است. در این تحقیق به علت آنکه میزان بارندگی در دو سال ۷۳ و ۷۴ در طول فصل رشد متفاوت بوده است (در سال ۷۳، ۷۲ میلیمتر و در سال ۷۴، ۱۰۴ میلیمتر بارش بوده است)، این شاخص برای هرکدام از سال‌ها و همچنین برای مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله مدل محاسبه شده است. به دلیل آنکه مدل، عملکرد را بدون در نظر گرفتن میزان بارندگی پیش‌بینی کرده است، لذا در محاسبه WUE برای مدل فقط آب آبیاری در نظر گرفته شده است. نتایج WUE در جدول ۵ و ۶ برای دو گیاه گندم و جو آمده است.

همان‌گونه که در جداول مشاهده می‌شود، در دو سال و همچنین برای مدل در هر دو محصول با کاهش عمق مصرف آب، میزان محصول کاهش می‌یابد، ولی WUE روند مشابهی را نشان نمی‌دهد. درمورد نتایج مزرعه در دو سال ۷۳ و ۷۴ و برای هر دو محصول و دور آبیاری، تقریبا حداکثر محصول حاصل از واحد آب برای شرایط کم‌آبیاری به میزان ۲۰ درصد نیاز آبی به دست آمده است. این موضوع بیانگر این است که آبیاری حتی به میزان کم هم بسیار مفید بوده و در مناطقی که آب مهمترین عامل محدودکننده در کشت گیاهان است با کم‌آبیاری می‌توان به نتایج بهتری در تولید و افزایش سطح زیرکشت آبی دست یافت. بالا بودن WUE در تک آبیاری در سال ۷۴ می‌تواند به دلیل بالا بودن میزان بارندگی در این سال باشد.

مقادیر پیش‌بینی شده به وسیله مدل CROPWAT در مورد WUE بسیار متفاوت از نتایج واقعی است. در تمام حالات مدل بیشترین WUE را در شرایط تک‌آبیاری نشان می‌دهد. تخمین مدل

در برآورد WUE برای تمام تیمارها بیشتر از نتایج واقعی بوده‌است که باید این موضوع در تحقیقات مورد توجه قرار گیرد. به نظر می‌رسد ضریب حساسیت به تنش آبی در مدل نیاز به اصلاح دارد.

(جدول۵)- مقادیر عملکرد و WUE برای گندم در دو سال ۷۳ و ۷۴ و برای مدل در ۲ دور آبیاری

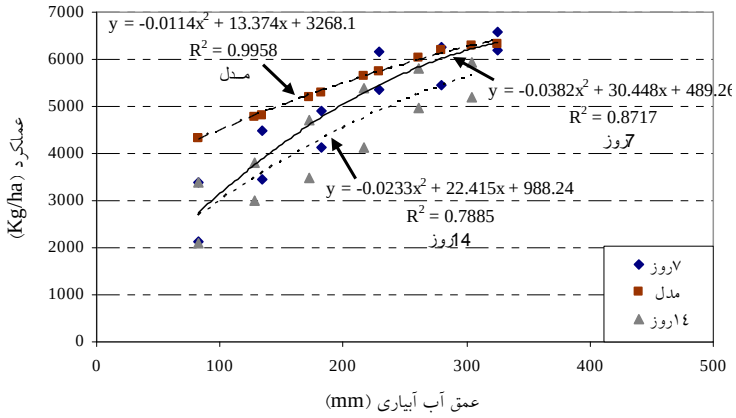
تنش آبی	تیمارها	سال ۷۳			سال ۷٤			مدل CROPWAT			
		عملکرد (Kg/ha)	مجموع عمق آبیاری و بارندگی (mm)	WUE (Kg/m^3)	عملکرد (Kg/ha)	مجموع عمق آبیاری و بارندگی (mm)	WUE (Kg/m^3)	عملکرد (Kg/ha)	عمق آبیاری (mm)	WUE (Kg/m^3)	
۷	آبیاری کامل	۶۱۹۸	۳۹۷	۱/۵۶۱	۶۵۷۰	۴۲۹	۱/۵۳۱	۶۳۲۶	۳۲۵	۱/۹۴۷	
	٪ ۸۰ نیاز آبی	۵۴۴۶	۳۵۱	۱/۵۵۲	۶۲۶۳	۳۸۳	۱/۶۳۵	۶۲۰۵	۲۷۹	۲/۲۲۴	
	٪ ۶۰ نیاز آبی	۵۳۶۲	۳۰۱	۱/۷۸۱	۶۱۷۰	۳۳۳	۱/۸۵۳	۵۷۳۹	۲۲۹	۲/۵۰۶	
	٪ ۴۰ نیاز آبی	۴۱۳۹	۲۵۴	۱/۶۲۶	۴۹۰۵	۲۸۶	۱/۷۱۵	۵۲۸۶	۱۸۲	۲/۹۰۴	
	٪ ۲۰ نیاز آبی	۳۴۳۷	۲۰۶	۱/۶۶۸	۴۴۶۸	۲۳۸	۱/۸۷۷	۴۸۲۰	۱۳۴	۳/۵۹۷	
	تک آبیاری	۲۱۲۰	۱۵۵	۱/۳۶۷	۳۳۹۱	۱۸۷	۱/۸۱۳	۴۳۲۸	۸۳	۵/۳۱۵	
۱۴	آبیاری کامل	۵۲۰۸	۳۷۶	۱/۳۸۵	۵۹۳۷	۴۰۸	۱/۴۵۵	۶۴۸۲	۳۰۴	۲/۰۶۶	
	٪ ۸۰ نیاز آبی	۴۹۶۳	۳۳۳	۱/۴۹۰	۵۸۱۱	۳۶۵	۱/۵۹۲	۶۰۳۹	۲۶۱	۲/۳۱۴	
	٪ ۶۰ نیاز آبی	۴۱۴۴	۲۸۹	۱/۴۳۴	۵۳۸۸	۳۲۱	۱/۶۷۸	۵۶۳۱	۲۱۷	۲/۵۹۵	
	٪ ۴۰ نیاز آبی	۳۴۹۳	۲۴۴	۱/۴۳۳	۴۷۱۶	۲۷۶	۱/۷۰۹	۵۱۹۶	۱۷۲	۳/۰۲۱	
	٪ ۲۰ نیاز آبی	۳۰۰۲	۲۰۰	۱/۵۰۱	۳۸۱۳	۲۳۲	۱/۶۴۳	۴۷۶۹	۱۲۸	۳/۷۲۶	
	تک آبیاری	۲۱۱۰	۱۵۵	۱/۳۶۱	۳۳۷۶	۱۸۷	۱/۸۰۶	۴۳۲۸	۸۳	۵/۳۱۵	

(جدول۶)- مقادیر عملکرد و WUE برای جو در دو سال ۷۳ و ۷٤ و برای مدل در ۲ دور آبیاری

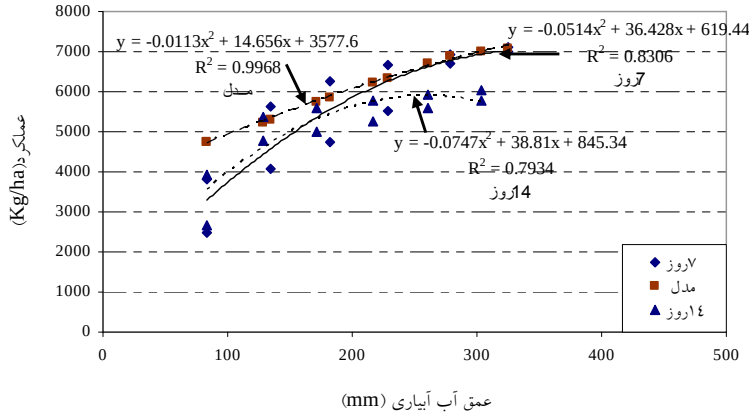
تنش آبی	تیمارها	سال ۷۳			سال ۷۴			مدل CROPWAt		
		عملکرد (Kg/ha)	مجموع عمق آبیاری و بارندگی (mm)	WUE (Kg/m^3)	عملکرد (Kg/ha)	مجموع عمق آبیاری و بارندگی (mm)	WUE (Kg/m^3)	عملکرد (Kg/ha)	عمق آبیاری (mm)	WUE (Kg/m^3)
۷	آبیاری کامل	۷۱۱۰	۳۹۷	۱/۷۹۱	۷۰۱۲	۴۲۹	۱/۶۳۴	۷۰۶۱	۳۲۵	۲/۱۷۳
	٪ ۸۰ نیاز آبی	۶۶۹۱	۳۵۱	۱/۹۰۶	۶۹۳۰	۳۸۳	۱/۸۰۹	۶۸۷۷	۲۷۹	۲/۴۶۵
	٪ ۶۰ نیاز آبی	۵۵۳۷	۳۰۱	۱/۸۴۰	۶۶۶۱	۳۳۳	۲/۰۰۰	۶۳۴۸	۲۲۹	۲/۷۷۲
	٪ ۴۰ نیاز آبی	۴۷۳۰	۲۵۴	۱/۸۶۲	۶۴۵۲	۲۸۶	۲/۱۸۶	۵۸۳۹	۱۸۲	۳/۲۰۸
	٪ ۲۰ نیاز آبی	۴۰۹۱	۲۰۶	۱/۹۸۶	۵۶۳۸	۲۳۸	۲/۳۶۹	۵۳۱۰	۱۳۴	۳/۹۶۳
	تک آبیاری	۲۴۸۴	۱۵۵	۱/۶۰۳	۳۸۲۳	۱۸۷	۲/۰۴۴	۴۷۴۵	۸۳	۵/۷۱۷
۱۴	آبیاری کامل	۵۷۶۴	۳۷۶	۱/۵۳۳	۶۰۲۵	۴۰۸	۱/۴۷۷	۷۰۰۵	۳۰۴	۲/۳۰۴
	٪ ۸۰ نیاز آبی	۵۵۸۱	۳۳۳	۱/۶۷۶	۵۹۲۲	۳۶۵	۱/۶۲۵	۶۶۹۴	۲۶۱	۲/۵۶۵
	٪ ۶۰ نیاز آبی	۵۲۴۷	۲۸۹	۱/۸۱۶	۵۷۸۹	۳۲۱	۱/۸۰۳	۶۲۲۱	۲۱۷	۲/۸۶۷
	٪ ۴۰ نیاز آبی	۴۹۹۵	۲۴۴	۲/۰۴۷	۵۶۱۱	۲۷۶	۲/۰۳۳	۵۷۲۶	۱۷۲	۳/۳۲۹
	٪ ۲۰ نیاز آبی	۴۷۹۱	۲۰۰	۲/۳۹۶	۵۳۵۲	۲۳۲	۲/۳۰۷	۵۳۳۹	۱۲۸	۴/۰۹۳
	تک آبیاری	۲۶۶۶	۱۵۵	۱/۷۲۰	۳۹۱۵	۱۸۷	۲/۰۹۴	۴۷۴۵	۸۳	۵/۷۱۷

به طورکلی نتایج WUE پیش‌بینی برای گندم در این تحقیق با مقادیر WUE که از مطالعات توکلی و اویس به دست آمده هم‌خوانی مناسبی دارد. در تحقیق ایشان کارآیی مصرف آب برای این کشت تحت سه رژیم آبیاری به میزان ۰/۳۳، ۰/۶۶ و آبیاری کامل کارآیی مصرف آب، به ترتیب ۱/۸۰۹، ۱/۴۲۸ و ۱/۲۰۰ کیلوگرم ماده خشک بر مترمکعب آب به دست آمد (۱۸). همچنین آنها ماکزیمم WUE را در کم آبیاری به میزان ۰/۳۳ آبیاری کامل به دست آوردند.

برای بررسی اثر میزان آبیاری بر عملکرد دو محصول گندم و جو، تابع تولید نسبت به میزان آب آبیاری برای دو سال و برای دو دور آبیاری به صورت مجزا و برای مدل تعیین شد (شکل۳ و۴). در این توابع میزان آب بارندگی در تامین بخشی از نیاز آبی گیاه لحاظ نشده-است که با شرایط واقعی هم‌خوانی ندارد.



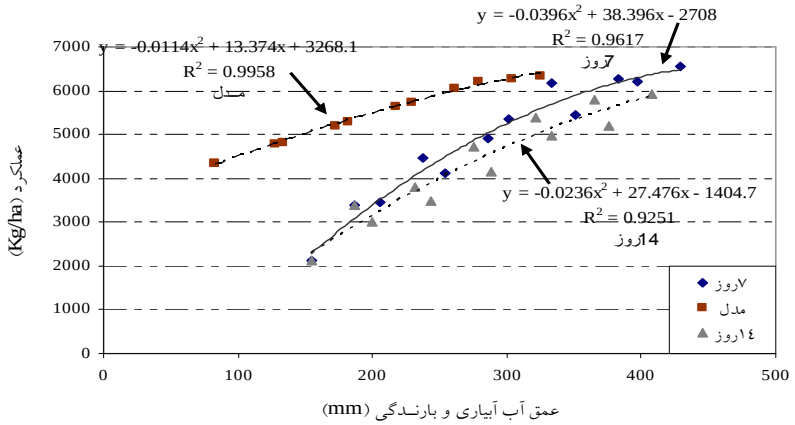
(شکل ۳)- توابع تولید گندم نسبت به عمق آب آبیاری برای مدل و شرایط مزرعه در دور آبیاری ۷ و ۱٤ روز



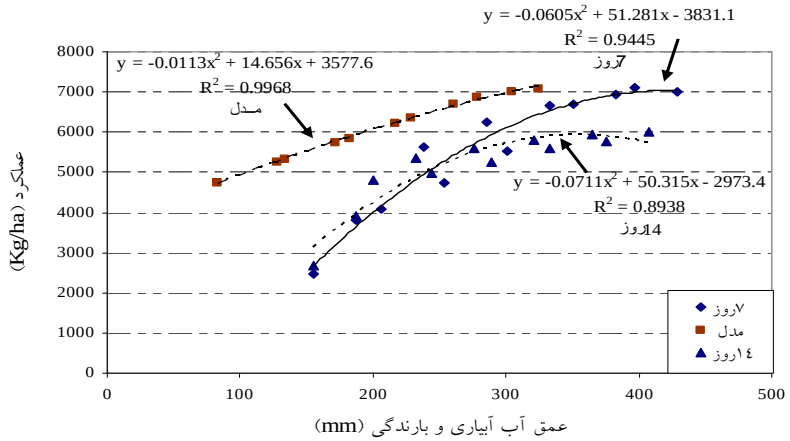
(شکل٤)- توابع تولید جو نسبت به عمق آب آبیاری برای مدل و شرایط مزرعه در دور آبیاری ۷ و ۱٤ روز

برای بررسی اثر میزان بارندگی بر عملکرد، توابع تولید دو محصول نسبت به مجموع آب آبیاری و بارندگی برای هر دو دور آبیاری مشخص شد (شکل ۵ و۶). این نتایج نشان می‌دهد که رابطه بین عملکرد و آب آبیاری همانگونه که انتظار می‌رود یک رابطه درجه ۲ می‌باشد. توابع تولید گندم و جو برای مدل بسیار شبیه یکدیگر است. همان‌گونه که در بالا نیز مشاهده شد مدل بطور کلی میزان عملکرد را بیشتر از مقادیر واقعی نشان می‌دهد.

با وارد کردن بارندگی در توابع تولید، ضریب همبستگی توابع تولید بالاتر رفته است. این بدان معنی است که بارندگی سهم مهمی در تامین نیاز آبی در هر دو دور آبیاری و برای هر دو محصول داشته است. البته در دور آبیاری ۷ روز، عملکرد همبستگی بهتری نسبت به آب آبیاری و همچنین مجموع آب آبیاری و بارندگی دارد.



(شکل۵)- توابع تولید گندم نسبت به عمق آب آبیاری و بارندگی برای مدل و شرایط مزرعه در دور ۷ و ۱٤ روز



(شکل ٦)- توابع تولید جو نسبت به عمق آب آبیاری و بارندگی برای مدل و شرایط مزرعه در دور ۷ و ۱٤ روز

نتیجه‌گیری و پیشنهادات:

نتایج این بررسی نشان داد که مدل CROPWAT در تخمین کاهش عملکرد در حالت کم‌آبیاری دقت بالایی نداشته و گاه نتایجی بسیار متفاوت از نتایج واقعی دارد.

به نظر می‌رسد کاربرد این مدل بدون کالیبره کردن ضرایب گیاهی خالی از اشکال نباشد. همچنین در شرایطی که به دلیل کیفیت پایین منابع آب و خاک تنش شوری نیز وجود دارد باید در استفاده از این مدل دقت شود، زیرا این مدل اثر تنش شوری را بر عملکرد نادیده می‌گیرد.

کم‌آبیاری در مناطقی که با کمبود آب مواجه هستند می‌تواند مدیریت مناسبی در افزایش کارآیی مصرف آب و همچنین بالابردن سطح زیر کشت داشته باشد. با توجه به اهمیت مدیریت کم‌آبیاری در ارتقای بهره‌وری آب، اصلاح و ارتقای کارآیی مدل در شبیه‌سازی تیمارهای کم‌آبیاری پیشنهاد می‌شود.

منابع:

۱- اسماعیلی، س. ۱۳۸۵. ارزیابی عملکرد مدل کراپ وات در مدیریت کم آبیاری ذرت. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. پردیس کشاورزی دانشگاه تهران. ص ۱۵۴.

۲- جانباز، ح. ر. ۱۳۷۵. مطالعه اثر تنش کم‌آبی و دور آبیاری بر عملکرد محصول گندم در منطقه کرج. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. پردیس کشاورزی دانشگاه تهران. ص ۱۲۲.

۳- سپاسخواه، ع. ر.، توکلی ع. ر. و موسوی. س. ف. ۱۳۸۵. اصول و کاربرد کم‌آبیاری. چاپ اول. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ص ۲۸۸.

۴- شیخ حسینی، م. ۱۳۷۵. اثرات تنش آبی و دور آبیاری بر عملکرد محصول جو در منطقه کرج. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. پردیس کشاورزی دانشگاه تهران. ص ۱۱۶.

5- Cavero, J., Farre, I. Debaek Ph. and J.M. Faci. 2000. Simulation of Maize Yield under Water Stress with the EPIC phase and CROPWAT Models. Agron. J. 92:679-690.
6- English, M. 1990. Deficit Irrigation I. An Analytical Framework. J. Irrig. Drainage ASCE, 116: 399-412.
7- FAO. 1979. Yield Response to Water by J. Doorenbos and A.H. Kassam. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33. Rome.
8- FAO. 1992. CROPWAT, a Computer Program for Irrigation Planning and Management by M. Smith. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 26. Rome.
9- FAO. 1998. Crop Evapotranspiration; Guidelines for Computing Crop Water Requirements by R. Allen, LA. Pereira, D. Raes & M. Smith. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome.
10- Hoffman, G.J., Howell T.A. and K.H. Solomon. 1992. Management of Farm Irrigation.
11- Homaee, M., C. Dirksen and R.A. Feddes.2002. Simulation of Root Water Uptake. I. Nonuniform Transient Salinity Stress Using Different Macroscopic Reduction Functions. Agr. Water Management. 57(2):89-109.
12- Howell, T.A., Evett, S.R. Tolk, J.A. Schneider A.D. and Steiner. J.L. 1996. Evapotranspiration of Corn-Southern High Plains. In: Proceeding of the Conference on International Evapotranspiration and Irrigation Schedule. ASAE. San Antonio. TX. Pp 381-387.
13- Kar, G. and Verma. H.N. 2005. Phonology Based Irrigation Scheduling and Determination of Crop Coefficient of Winter Maize in Rice Fallow of Eastern India. Agricultural Water Management. 75:169-183.
14- Kirda, C. & Kanber, R. 1999. Water No Longer a Plentiful Resource, Should Be Used BSparingly in Irrigated Agriculture. In: C. Kirda, P. Moutonnet, C. Hera and D.R. Nielsen, eds. Crop Yield Response to Deficit Irrigation, Dordrecht, The Netherlands, Kluwer Academic Publishers.
15- Kirda, C. 2004. Deficit Irrigation Scheduling Based on Plant Growth Stages Showing Water Stress Tolerance. FAO Deficit Irrigation Practices. Water Reports 22:3-10.
16- Kuo, Sh. F., Lin B.J. and Shieh. H.J. 2001. CROPWAT Model to Evaluate Crop Water Requirements in Taiwan. International Commission on Irrigation and Drainage. 1st Asian Regional Conference, Seoul.
17- Smith, M. and Kivumbi. D. 2004. Use of the FAO CROPWAT Model in Deficit Irrigation Studies. Joint FAO/IAEA Division. FAO Deficit Irrigation Practices. Water Reports 22:17-27.
18- Tavakkoli, A.R. and Oweis. T.Y. 2004. The Role of Supplemental Irrigation and Nitrogen in Producing Bread Wheat in the Highlands of Iran. Agricultural Water Management. 65:225-236.

Journal of Water and Soil
Vol. 23, No. 1, Spring 2009, p.119-129

مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۳، شماره ۱، بهار ۱۳۸۸، ص ۱۲۹-۱۱۹

Evaluation of CROPWAT model in deficit irrigation management of wheat and barley in Karaj

H. Ramezani Etedali[1] - B. Nazari[2] - A. Tavakoli[3] - M. Parsinejad[4*]

Abstract:

Deficit irrigation technique can be used for produce more yield for every unit of irrigation water, and cause to increase crop economical benefit. Main purpose of deficit irrigation is high water use efficiency with decreasing in irrigation sufficiency. In this research potential of CROPWAT model in deficit irrigation management for two crops, wheat and barley in Karaj climate was studied. The results of reliability index such as RMSE and CRM with about are 9.8-17.2 percent and 0.32-0.51 value respectively, showed that the model in both crops underestimated the yield reduction compared with actual data. Negative values of EF index achieved for both crops with 14 days irrigation interval show inefficiency of model in yield reduction predicting in this irrigation interval. This difference was more obvious in deficit irrigation treatments. Considering only drought stress and neglecting other stresses -such as salinity- is the most important limitation of CROPWAT model. Model crop coefficients could also caused differences between actual data and model results. This study shows that application of CROPWAT model without calibration of crop coefficients and soil characteristics would be result in significant errors and this is should be considered. In this study water use efficiency for studied crops were achieved in the range of 1.3-2.3 Kg/m^3 and maximum values of that was in 20% deficit irrigation. Applying optimum deficit irrigation management could have considerable role in increasing water use efficiency.

Keywords: Water use efficiency, Yield reduction, Production function, CROPWAT

1 -M.S. student, Department of Irrigation and Reclamation, Tehran University.
2 -M.S. student, Department of Irrigation and Reclamation, Tehran University.
3 -Ph.D. student, Department of Irrigation and Reclamation, Tehran University.
4 -Assistant Professor, Department of Irrigation and Reclamation, Tehran University.
(* - Corresponding author Email: parsinejad@ut.ac.ir)