

ارتقای بهره‌وری مصرف آب در محصول گندم زمستانه تحت سناریوهای آبیاری مختلف با استفاده از مدل Aquacrop (مطالعه موردی مشهد)

مرجان قوچانیان^{۱*}، حسین انصاری^۲، محمد فشائی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۳/۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۷

چکیده

آب مهم‌ترین عامل محدودکننده برای توسعه کشاورزی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. در کشورمان، علاوه بر کمبود آب که مشکلاتی را برای توسعه کشاورزی در پی داشته، عدم استفاده بهینه از آب‌های استحصالی نیز باعث شده است تا محصول کمتری به عمل آید. لذا با توجه به سهم عظیم مصرف آب در بخش کشاورزی و همچنین پایین بودن بهره‌وری آب، انتخاب و به‌کارگیری راهکارهایی در زمینه‌ی بهبود روش‌های آبیاری و بهینه‌سازی مصرف آب در گیاهان، ضروری به‌نظر می‌رسد. در این تحقیق، برنامه‌ریزی مدیریت آبیاری برای گیاه گندم توسط مدل بهره‌وری آب محصول (AquaCrop) در مراحل مختلف رشد در شرایط کم آبیاری و بیش آبیاری در شرایط استرس بررسی شده است. با توجه به اینکه در برنامه‌ریزی آبیاری در طول دوره رشد، همواره عمق ثابتی از آب به گیاه داده می‌شود لذا در این پژوهش باتوجه به شرایط آب مورد نیاز گیاه در زمان‌های مختلف، عمق آبیاری تغییر یافت. بدین منظور، داده‌های مورد نیاز مدل شامل اطلاعات اقلیمی، گیاهی، مقادیر آبیاری اعمال شده و داده‌های خاک مربوط به گندم به مدل داده شد. سپس با تغییر دور و عمق آبیاری، میزان بهره‌وری آب و مقدار کل ماده خشک گندم ارزیابی شد. حالت بهینه انتخاب شده برای محصول استفاده شده در این پژوهش، در دور ۱۰ روز و با اعمال اعماق متفاوت آبیاری، با بهره‌وری ۲۰/۱۹ کیلوگرم بر متر مکعب به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ماده خشک، کم آبیاری، گندم، برنامه‌ریزی

مقدمه

خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، انتخاب راهکارهایی که کاهش مصرف و استفاده‌ی بهینه‌ی آب را در این بخش به‌دنبال داشته باشد، از اولویت برخوردار است. سازمان غذا و کشاورزی (FAO) برای استفاده بهینه از آب در تولید مواد غذایی، مدل AquaCrop را توسعه داد. این مدل، واکنش عملکرد محصول را به آب مصرفی گیاه ارتباط می‌دهد و تکمیل‌کننده تئوری پاسخ عملکرد گیاه به آب مصرفی دورنبوس و کاسام (۱۹۷۹) است (Steduto et al., 2009). از آنجایی که در اغلب مناطق ایران محدودیت منابع آب وجود دارد، لذا ضروری است که امکان حصول حداکثر عملکرد محصول با استفاده از مدل‌های کم آبیاری مورد بررسی قرار گیرد. کم آبیاری به عنوان یک روش بهینه برای تولید محصول در شرایط کمبود آب مطرح می‌باشد (انصاری و همکاران، ۱۳۸۵).

این مهم با استفاده از مدل‌های شبیه ساز اثر آب بر عملکرد محصول مثل AquaCrop بدست می‌آید. این مدل می‌تواند زیست توده و عملکرد محصول را در شرایط مختلف تراکم بوته، تاریخ کاشت و نیاز آبی با دقت مناسبی شبیه سازی نماید (Hsiao et al., 2009). در سال ۲۰۰۹، مدل AquaCrop با دیگر مدل‌های شبیه‌سازی

کمبود آب یک مانع اساسی در تولید مواد غذایی در بسیاری از کشورهای خشک و نیمه خشک دنیا است. با افزایش جمعیت در بسیاری از مناطق دنیا، یک عزم جهانی برای افزایش تولیدات کشاورزی به منظور جبران کمبود غذا از طریق مدیریت بهتر آبیاری شکل گرفته شده است (Araya et al., 2016). خشکسالی‌های پی‌درپی در دو دهه اخیر از یک سو و عدم توجه به استفاده بهینه و بهره‌برداری صحیح آب از طرف دیگر بحران آب را در کشور بسیار جدی نموده است. بخش کشاورزی یکی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی در هر کشور است. از آنجایی که کمبود آب، اساسی‌ترین مشکل در مناطق

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

* نویسنده مسئول: (Email: ma.quchanian@gmail.com)

مواد و روش‌ها

شهر مشهد با وسعت ۹۱۴۱/۶۷ کیلومتر مربع، ۷/۸۵ درصد از سطح استان خراسان رضوی را در بر گرفته است که سومین شهر بزرگ استان است. در بخش کشاورزی در استان خراسان رضوی، شهرستان مشهد ۵۶ هزار هکتار سطح زیر کشت محصولات زراعی و باغی را دارد و از این منظر رتبه سوم استان را دارد. بر اساس سالنامه آماری ۹۶-۱۳۹۵ سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی تقریباً ۴۵۹۰۸۹۱ تن انواع محصولات زراعی برداشت شده است به طوری که ۹۸،۷۶ درصد میزان تولید محصولات زراعی متعلق به اراضی با کشت آبی و درصد بقیه متعلق به اراضی با کشت دیم است. در این میان شهرستان مشهد با سطح برداشت حدود ۵۵ هزار هکتار (۷،۷ درصد) رتبه سوم را در میان شهرهای استان دارد. سطح زیر کشت آبی و دیم محصولات زراعی مشهد به ترتیب ۳۹۲۷۳ و ۱۷۲۰۲ هکتار می‌باشد. در این پژوهش به منظور بهینه سازی عمق آبیاری محصول گندم از نرم افزار AquaCrop استفاده شد. نسخه مورد استفاده این نرم افزار، نسخه ۴ مدل AquaCrop است که این مدل بر اساس نشریه فائو ۳۳ طراحی شده است و برای محاسبه ضریب حساسیت کم آبی بر اساس تعیین نسبت تبخیر و تعرق نسبی و عملکرد نسبی استفاده می‌شود.

این مدل ابزاری برای مدیریت آب در مزرعه و بهینه سازی بهره‌وری آب می‌باشد. از آنجایی که ارزیابی کارایی این مدل در هر منطقه و برای هر محصول ضروری است به همین دلیل بهره‌وری آب برای محصولات ذکر شده که از محصولات استراتژیک می‌باشند محاسبه شده است. شاخص بودن این محصولات از لحاظ رتبه تولید در سطح کشور از دیگر دلایل مهم انتخاب این محصولات می‌باشد. اطلاعات جمع آوری شده در این پژوهش مربوط به سال زراعی ۱۳۹۶-۱۳۹۵ بوده که از سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی و سازمان هواشناسی کشور دریافت شده است.

تشریح مدل AquaCrop

مدل AquaCrop از رابطه دورنباس و کاسام (رابطه ۱) استنتاج شده است که قادر به تخمین عملکرد محصول می‌باشد.

$$\left(1 - \frac{Y}{Y_x}\right) = K_y \left(1 - \frac{ET}{ET_x}\right) \quad (1)$$

در آن Y عملکرد واقعی، Y_x حداکثر عملکرد، K_y فاکتور تناسب بین افت نسبی عملکرد و کاهش نسبی تبخیر و تعرق، ET تبخیر و تعرق واقعی و ET_x حداکثر تبخیر و تعرق می‌باشد.

رابطه (۱) با اعمال اصلاحاتی از جمله تفکیک تبخیر و تعرق واقعی (ET) به تبخیر از سطح خاک (E_s) و تعرق (Tr) از سطح محصول و نیز عملکرد نهایی (Y) به زیست توده (B) و شاخص

عملکرد محصول مورد مقایسه قرار گرفتند. مدل با مدل‌های Crop Fiset، sys در شرایط کم آبیاری مقایسه شد و نتیجه گرفته شد که به دلیل سادگی و نیاز به داده‌های کمتر، استفاده از مدل AquaCrop ترجیح دارد (Todorovic et al, 2009). (Tavakoli, et al, 2015) مدل AquaCrop را برای پیش بینی اثر کم آبیاری و کشت دیم بر روی عملکرد محصول جو، رطوبت خاک و درصد تاج پوشش سبز گیاه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مدل دقت مناسب برای شبیه سازی عملکرد محصول جو در شرایط کم آبیاری دارد و ابزار مناسبی برای تعیین زمان مناسب کشت دیم بر اساس اولین بارندگی موثر است. در کشور ما، به دلیل پراکنش نامناسب مکانی و زمانی بارندگی، بیشتر تولید مواد غذایی با تکیه بر زراعت فاریاب صورت می‌گیرد. در حال حاضر قسمت اعظم مصارف آب استحصالی کشور، به بخش کشاورزی اختصاص دارد. با توجه به وضعیت بحرانی آب در مناطق مختلف کشور و وجود دشت‌های ممنوعه، به نظر می‌رسد که بر روی توسعه منابع آبی جدید نمی‌توان حساب باز نمود و بایستی عمده نیازهای آبی، از طریق صرفه‌جویی در مصرف و افزایش بهره‌وری آب تامین شود. بهره‌وری، نسبت مقدار محصول تولید شده به آب مصرف شده می‌باشد که هرچه این نسبت بیشتر باشد، نشان‌دهنده مصرف صحیح‌تر آب است. بابازاده و همکاران (۱۳۹۱) عملکرد محصول و کارایی مصرف آب را با استفاده از مدل AquaCrop در شرایط کم آبیاری محصول سویا با خطای کمتر از ۵ درصد گزارش کردند. خلیلی و همکاران (۱۳۹۳) با شبیه‌سازی عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop اذعان داشتند این مدل قادر است با دقت بالایی عملکرد دانه را شبیه‌سازی کند و می‌توان از آن به‌عنوان ابزاری کارآمد برای برآورد عکس‌العمل گیاه نسبت به آب مصرفی استفاده کرد. امیری و همکاران (۱۳۹۴) با ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد دانه گندم در شرایط کم آبی، مقدار خطای نرمال شده را کمتر از ۵ درصد تخمین زدند که این نشان‌دهنده دقت بالای مدل است. نخجوانی مقدم و همکاران (۱۳۹۵) با بررسی تاثیر روش‌های برتر مدیریت آبیاری و زراعی بر عملکرد و بهره‌وری بارش روی گندم دیم تطبیق نتایج آزمایش‌های زراعی با و مدل شبیه‌سازی شده را ارائه کردند. کریمی و همکاران (۱۳۹۶) با شبیه سازی محصول جو در شرایط کم آبیاری با استفاده از مدل AquaCrop، دقت قابل قبولی از مدل را ارائه نمودند. هدف از انجام این پژوهش ارتقای بهره‌وری مصرف آب در محصول گندم تحت سناریوهای آبیاری مختلف با استفاده از مدل AquaCrop می‌باشد.

داده‌های گیاهی

داده‌های گیاهی ورودی شامل پارامترهای ثابت و داده‌های ویژه کاربر می‌باشد. پارامترهای گیاهی ثابت با گذشت زمان یا تغییر موقعیت جغرافیایی تغییر نمی‌کنند بنابراین مقادیر این پارامترها برای اکثر گیاهان به صورت پیش فرض در مدل وجود دارد. این پارامترها با استفاده از داده‌های رشد گیاه در شرایط مطلوب و بدون محدودیت واسنجی شده‌اند. پارامترهای مربوط به مکان و پارامترهای ویژه گیاهی طرح از قبیل ویژگی‌های آب و خاک، حداکثر عمق ریشه، تراکم گیاه و مدیریت آبیاری در گروه پارامترهای مخصوص کاربر طبقه‌بندی می‌شود که این پارامترها با استفاده از نشریه‌های فائو ۵۶ و ۶۶ بدست آمده است و در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- داده‌های ورودی مربوط به خاک برای مدل

مقدار	خاک
لوم شنی	نوع خاک
۵۰۰	هدایت هیدرولیکی اشباع (mm/day)
۴۱	رطوبت اشباع (% حجمی)
۲۲	نقطه ظرفیت زراعی (% حجمی)
۱۰	نقطه پژمردگی دائم (% حجمی)

تاریخ جوانه زنی عامل مهمی است که باید توسط کاربر به درستی وارد شود. این پارامتر علاوه بر شرایط رطوبتی خاک به عمق کاشت بستگی دارد. تاریخی که در آن ۹۰٪ بذرها سبز می‌شوند به عنوان تاریخ ظهور پوشش تاجی لحاظ می‌شود (Heng et al., 2009). زمان شروع پیری نزدیک رسیدگی فیزیولوژیکی است و برای یک گونه خاص به رژیم دمایی منطقه بستگی دارد.

جدول ۲- داده‌های ورودی مربوط به گیاه برای مدل Aquacrop

گندم	ورودی
۲۲ دسامبر ۲۰۱۶	زمان کاشت
۱۶۰	طول دوره (روز)
۱/۸	حداکثر عمق ریشه (متر)
۲۵۰۰۰۰	تراکم گیاه در هر هکتار

داده‌های مدیریتی

این داده‌ها مربوط به دو بخش مدیریت مزرعه و مدیریت آبیاری است. مدیریت مزرعه شامل انتخاب سطح حاصلخیزی خاک، شیوه‌های تعادل آب خاک مانند مالچ برای کاهش تبخیر خاک، پشته برای ذخیره آب در مزرعه و شیوه شخم است. مدیریت آبیاری شامل انتخاب محصول دیم و یا آبیاری می‌باشد که در این پژوهش باتوجه به آبیاری رایج منطقه، روش آبیاری کرتی انتخاب شده و از هیچ مالچی

برداشت (HI) توسعه یافته است. تفکیک تبخیر و تعرق به منظور در نظر نگرفتن بخش غیر موثر آب در تولید محصول بکار می‌رود. تعرق روزانه با استفاده از تبخیر و تعرق روزانه و بهره‌وری آب گونه گیاهی که با استفاده از نیاز تبخیری و غلظت CO2 اتمسفری نرمال شده به عملکرد بیولوژیک گیاه تبدیل می‌شود و بر اساس معادله زیر قابل محاسبه است:

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

در رابطه ۲، WP* بهره‌وری آب که با نرمال کردن مناسب برای شرایط اقلیمی متفاوت مقدار آن به یک پارامتر ثابت تبدیل می‌شود، B_i (زیست توده تهایی) عملکرد بیولوژیک، Tr_i تعرق روزانه و ET_{o,i} تبخیر و تعرق روزانه می‌باشد (Steduto et al., 2012). صحت مدل استفاده شده در رسیدن به رابطه ۱ به ۲ می‌باشد.

اثر تنش آبی بر ماده خشک و شاخص برداشت نیز به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای محاسبه عملکرد از زیست توده، مدل AquaCrop از رابطه‌ی زیر استفاده می‌کند:

$$Y = f_{HI} \times HI_o \times B \quad (3)$$

در آن، f_{HI} ضریبی که شاخص برداشت مرجع را تنظیم می‌کند و به کمبود آب، درجه حرارت، زمان و شدت تنش در طول چرخه رشد محصول بستگی دارد و HI_o شاخص برداشت می‌باشد.

داده‌های ورودی مدل AquaCrop

داده‌های اقلیمی

داده‌های اقلیمی مورد نیاز مدل شامل حداکثر و حداقل دمای روزانه، بارندگی و تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ETO) می‌باشد. داده‌های حداقل و حداکثر دمای روزانه برای محاسبه درجه روز رشد برای تعدیل عملکرد زیست توده بر اثر خسارات ناشی از سرما استفاده می‌کند (Raes et al., 2009). داده‌های دمای روزانه، مقدار بارندگی روزانه و اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه ETO از اطلاعات آماری سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۱۶ سازمان هواشناسی کشور برای ایستگاه هواشناسی سینوپتیک مشهد دریافت گردید. ETO با استفاده از نرم افزار Cropwat محاسبه شد و مقادیر CO2 از اطلاعات ایستگاه B1 موجود در مدل استفاده شد.

داده‌های مربوط به خاک

داده‌های مورد نیاز خاک ویژگی‌های هیدرولیکی شامل هدایت هیدرولیکی اشباع (Ksat) و رطوبت حجمی اشباع، (θ_{Sat})، نقطه ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) است که براساس پیش فرض نرم افزار برای خاک لوم شنی انتخاب شده است (جدول ۱).

مشخص، اگرچه به ازای عمق‌های مختلف آبیاری ممکن است به مقادیر بهره‌وری بیشتری دست یافت اما در این صورت با کاهش جرم ماده خشک مواجه خواهیم شد که مطلوب نیست.

با توجه به اینکه حداکثر ظرفیت نگهداشت آب در خاک برای هر بافت خاک مقدار مشخصی است لذا افزایش دور آبیاری تا سقف معینی امکان‌پذیر است چرا که پس از آن با افزایش عمق آبیاری و ظرفیت محدود نگهداشت آب در خاک، نمی‌توان از قرار گرفتن گیاه در وضعیت تنش آبی در فاصله بین دو آبیاری جلوگیری نمود. بنابراین در شکل‌های ۱ تا ۴ مشاهده می‌شود که بنا بر انتظار با افزایش دور آبیاری شاهد افزایش عمق بهینه آبیاری هستیم که این روند افزایشی تا مقدار مشخصی ادامه یافته و پس از آن با افت بهره‌وری مصرف آب یا کاهش مقدار ماده خشک تولیدی، این روند متوقف شده و تنزل می‌یابد.

دسته‌ای از سناریوهای آبیاری شامل تغییر دور به ازای عمق ثابت آبیاری می‌شود. در این حالت برای عمق ۶۰ میلی‌متر (در بخش قبلی به عنوان مقدار بهینه‌گزینه‌شده)، دوره‌های آبیاری ۴ تا ۲۰ روز به مدل معرفی شدند (شکل ۵). اگر چه دور ۴ روز انتخاب مناسبی به‌عنوان یک سناریو نبوده ولی در این پژوهش استفاده از این سناریو جهت تکمیل گزینه‌های ممکن استفاده شده است که نامناسب بودن آن نیز در شکل‌های ۱ تا ۴ قابل مشاهده است. از بررسی شکل‌های ۲ تا ۵ این نتیجه حاصل شد که در دور ثابت ۱۰ روز بیشترین بهره‌وری و جرم ماده خشک حاصل شده است، در جدول ۳ مقدار عملکرد دانه به‌ازای دوره‌های آبیاری منتخب ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود دور آبیاری ۱۰ روز نیز بیشترین عملکرد را دارد.

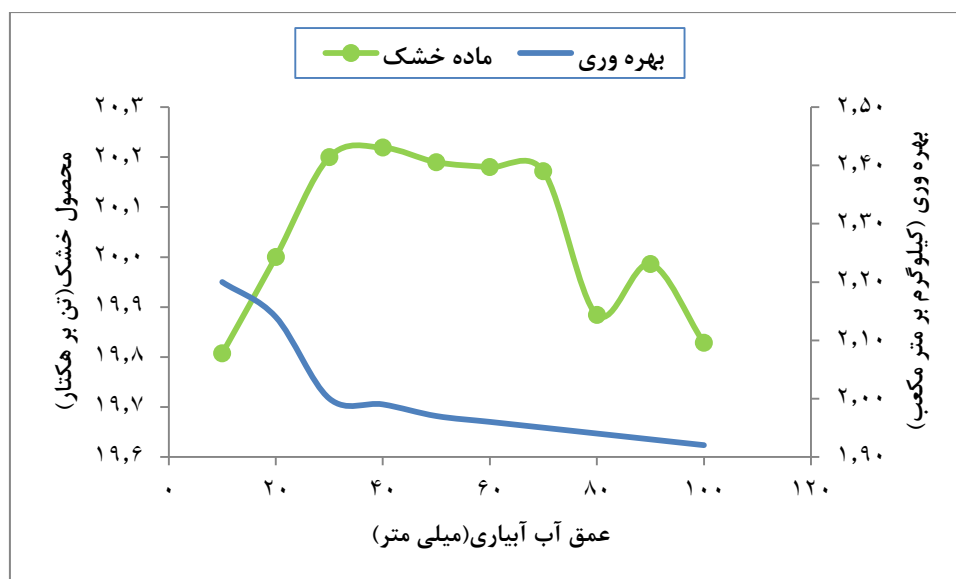
استفاده نشده است. برای برنامه‌ریزی آبیاری، اعماق مختلف آبیاری ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر و برای دوره‌های ۴ تا ۲۰ روز در نظر گرفته شد. بنابراین برای ۹۰ حالت مختلف آبیاری برنامه‌ریزی انجام شد.

نتایج و بحث

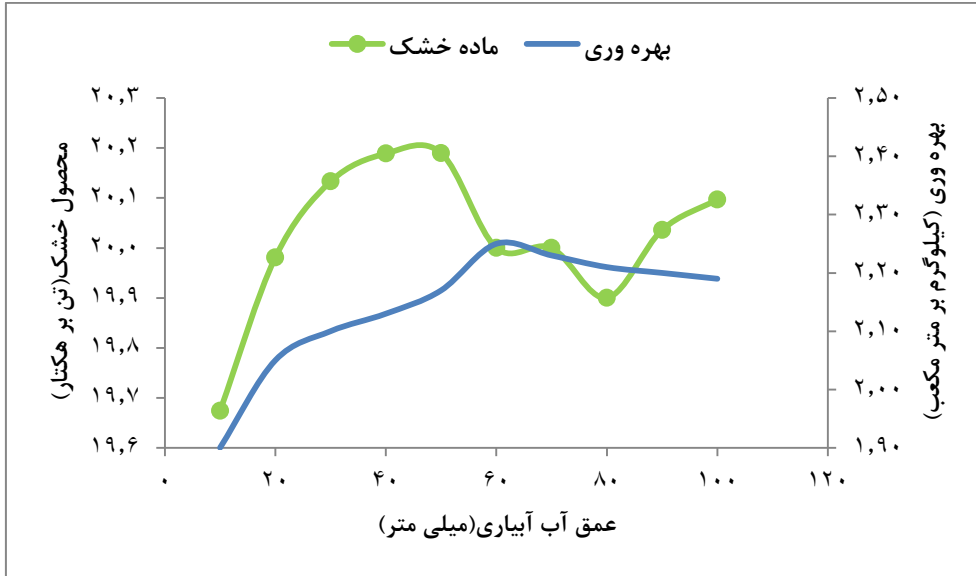
الف) انتخاب دور و عمق بهینه آبیاری

برای تعیین میزان شاخص بهره‌وری آب از توابع عملکرد استفاده می‌شود. این توابع رابطه بین میزان محصول در مقابل آب مصرفی در طول فصل آبیاری را نشان می‌دهند. نتایج بدست آمده از برنامه ریزی آبیاری محصول گندم برای چهار دور ثابت ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ روز که به‌عنوان پرکاربردترین دوره‌های آبیاری نیز در محدوده مطالعاتی برای محصول گندم که با نظام حقایقه‌بری موجود در این منطقه سازگار بوده نمایش داده شده است و از بررسی سایر دوره‌های آبیاری کمتر از ۸ روز و بیش‌تر از ۱۴ روز در این پژوهش صرف‌نظر گردید.

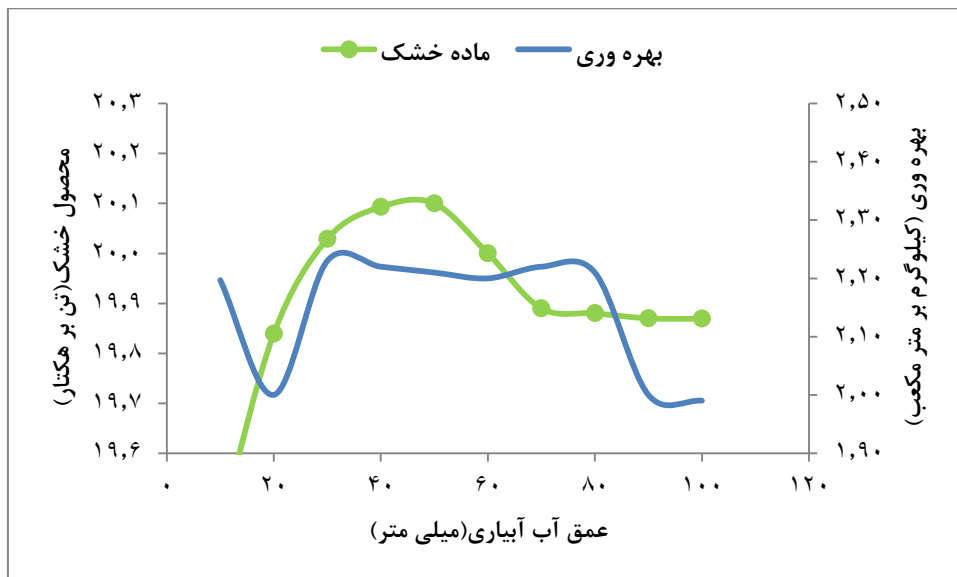
دوره‌های آبیاری مورد نظر در عمق آبیاری ۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر در شکل ۱ تا ۴ قابل مشاهده می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی ۴۰ سناریوی مختلف آبیاری که شامل ترکیب‌های مختلف دور آبیاری (۸، ۱۰، ۱۲، ۱۴ روز) و عمق آبیاری (۱۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر) می‌باشد بیانگر آن است که از بین دوره‌های آبیاری ثابت ۸، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ روز، دور ۱۰ روز با عمق آبیاری ۶۰ میلی‌متر (۶۰۰ متر مکعب در هکتار) دارای بیشترین مقدار بهره‌وری مصرف آب می‌باشد. سناریوهای منتخب از تلاقی منحنی بهره‌وری آب (کیلوگرم بر مترمکعب) و منحنی ماده خشک (تن بر هکتار) در ازای عمق‌های مختلف آبیاری (میلی‌متر) حاصل شده است. لازم به ذکر است در یک سطح کشت



شکل ۱- آبیاری در دور ثابت ۸ روز



شکل ۲- آبیاری در دور ثابت ۱۰ روز



شکل ۳- آبیاری در دور ثابت ۱۲ روز

است. این عامل تعیین کننده‌ی جزئی از آب ذخیره شده در خاک است که بین آبیاری‌ها، مجاز به تخلیه می‌باشد و به این ترتیب برای تعیین زمان آبیاری بعدی به کار می‌رود (هاشمی‌نیا، ۱۳۸۳). شکل ۶، چارت مربوط به دور منتخب حاصل شده از بررسی‌های اعماق مختلف آبیاری می‌باشد، همانطور که در شکل مشاهده می‌شود میزان آب آبیاری در نیمه اول دوره رشد بسیار بیشتر از آب مورد نیاز محصول گندم است. بنابراین با اعمال دور و عمق ثابت آبیاری در ابتدای دوره رشد با هدررفت آب مواجه خواهیم بود. به‌طور معمول در نظام سنتی تقسیم آب (سطحی یا زیرزمینی) تغییر عمق و دور آبیاری از انعطاف

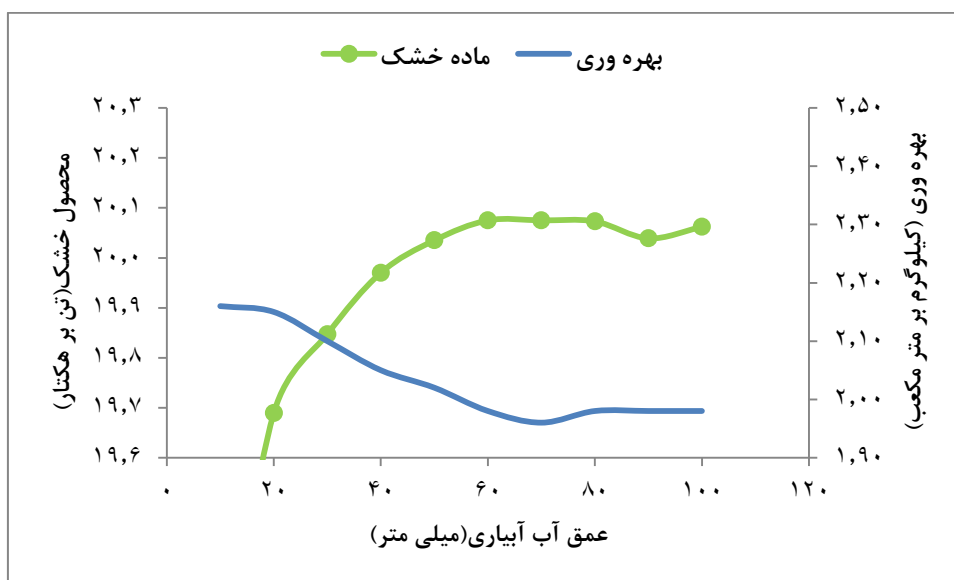
در سایر نقاط گرچه ممکن است دو پارامتری که در نمودارها مورد بررسی قرار گرفته است، از مقادیر بیشتری برخوردار باشند اما افزایش یکی منجر به کاهش دیگری شده و این در حالی است که حالت بهینه از افزایش توامان آن‌ها حاصل می‌شود. مطابق نتایج به‌دست آمده از شکل ۲ و جدول ۳ دور آبیاری ۱۰ روز در عمق آبیاری ۶۰ میلی‌متر به‌عنوان گزینه مورد بررسی انتخاب شد.

ب) ارتقای بهره‌وری مصرف آب

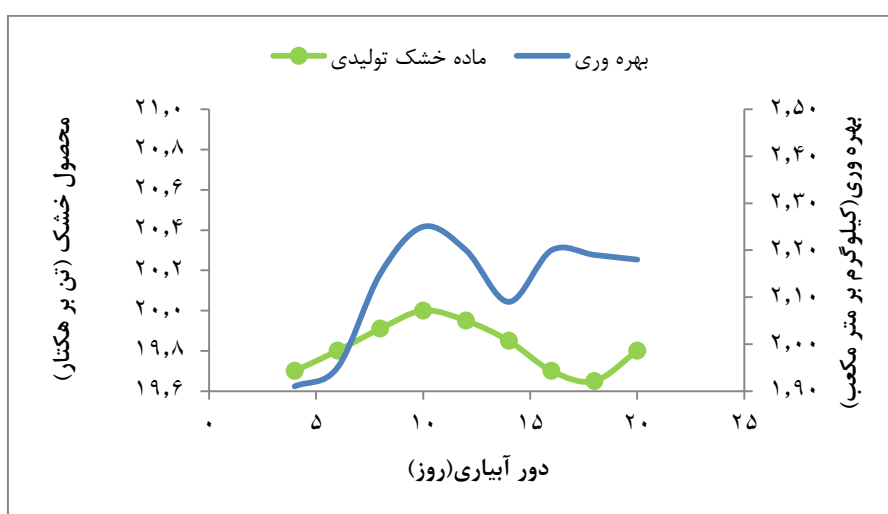
پرکاربردترین عامل برای زمان‌بندی آبیاری تخلیه مجاز آب خاک

وابسته به چگونگی برنامه‌ریزی آبیاری است. در ادامه سعی شده است با اعمال سه سناریوی فرضی مقدار کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری آب در هر یک از الگوهای آبیاری انتخاب شده در بخش-های قبلی برآورد شود.

پذیری زیادی برخوردار نمی‌باشد لذا بخش زیادی از کشاورزان نمی‌توانند زمان و مقدار آبیاری را دقیقاً منطبق با نیاز آبی گیاه در طول دوره رشد تنظیم نمایند. از سوی دیگر می‌دانیم عملکرد محصولات زراعی و همچنین بهره‌وری مصرف آب تا حد زیادی



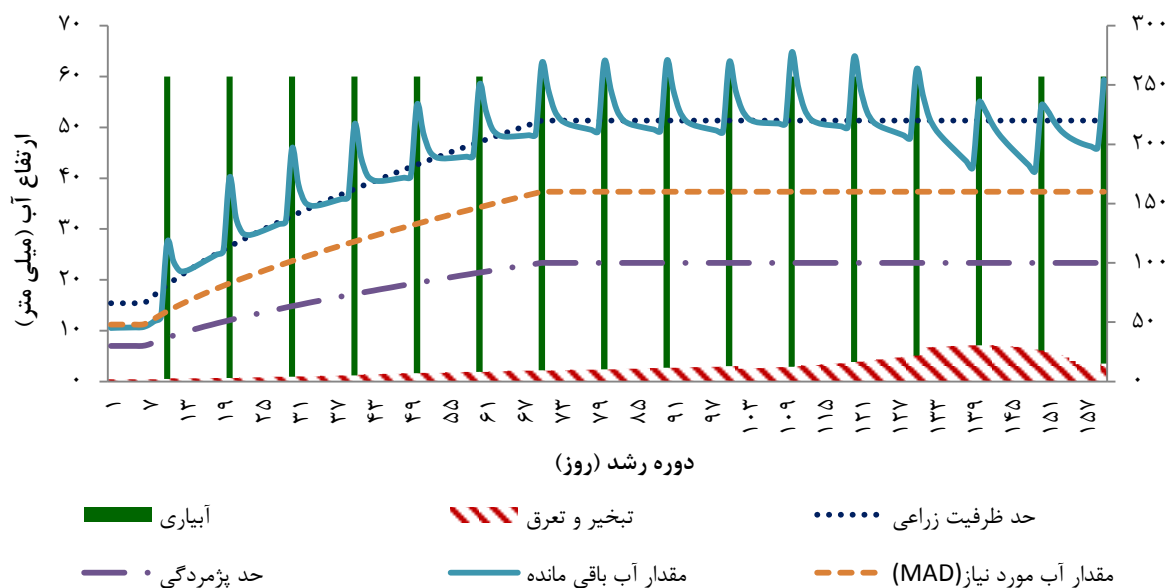
شکل ۴- آبیاری در دور ثابت ۱۴ روز



شکل ۵- آبیاری در عمق ثابت ۶۰ میلی‌متر

جدول ۳- مقدار عملکرد دانه برای دوره‌های متفاوت آبیاری و برای عمق ۶۰ میلی‌متر

دور آبیاری (روز)	۱۴	۱۲	۱۰	۸
عملکرد دانه (تن بر هکتار)	۹/۹۱۶	۱۰/۰۷۷	۱۰/۰۹۶	۱۰/۰۴۸



شکل ۶) آبیاری در عمق ثابت ۶۰ میلی متر و دور آبیاری ۱۰ روز

شد که دو متغیر بهره‌وری مصرف آب و جرم ماده خشک افزایش یافته است بنابراین می‌توان گفت ارتقای بهره‌وری از طریق تغییر جزئی در برنامه‌ریزی آبیاری نتیجه مثبتی به همراه داشته است. نتایج اعمال هر یک از سه سناریو به شرح ذیل است:

سناریو شماره ۱: با توجه به اینکه هدررفت آب در دوره ابتدایی کاهش یافته است، و با توجه به بهبود جزئی تولید ماده خشک، افزایش بهره‌وری مصرف آب نیز رخ داده است.

سناریو شماره ۲: در این سناریو به مقدار عمق آبیاری در دوره میانی و پایانی رشد افزوده شده که طبق انتظار نتیجه آن در تغییرات مثبت تولید ماده خشک قابل ملاحظه است. بدیهی است در این حالت با توجه به افزایش عمق آبیاری انتظار افزایش محسوس بهره‌وری مصرف آب نمی‌رود.

سناریو شماره ۳: در این حالت با توجه به اینکه بخشی از مقدار عمق آبیاری کاهش یافته در ابتدای دوره رشد در فاز میانی و پایانی دوره رشد مجدداً به مصرف رسیده است لذا بهره‌وری مصرف آب از هر دو سناریوی شماره ۱ و ۲ بیشتر شده است. اما با توجه به اینکه در مجموع از میزان عمق آبیاری کاسته شده است، شاهد اندکی افت تولید ماده خشک نسبت به سناریوی شماره ۲ هستیم.

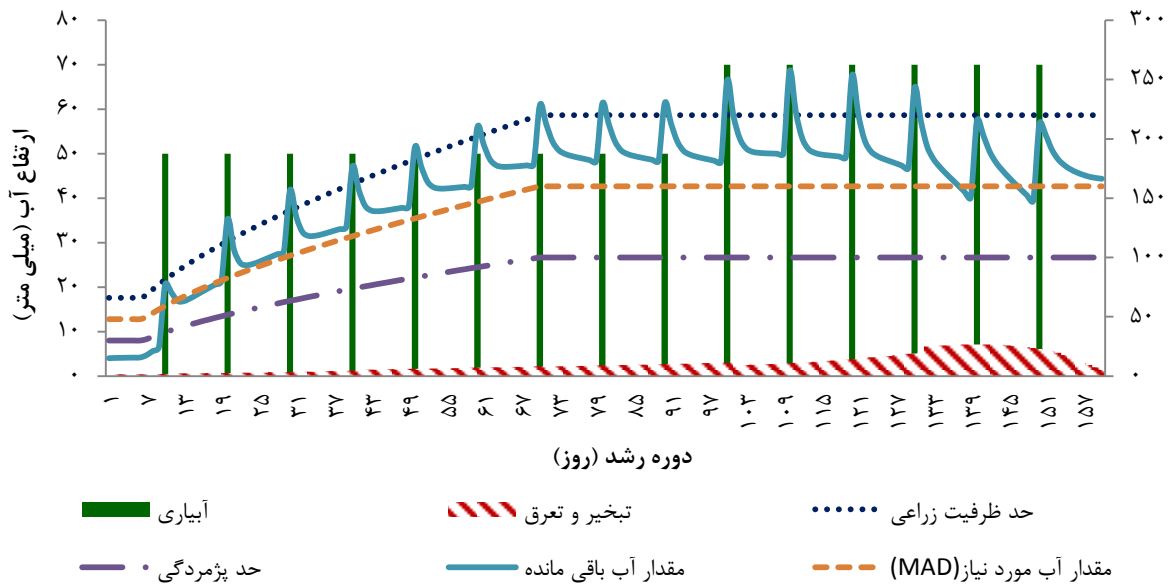
چنانچه حداقل فاصل منحنی "مقدار آب مورد نیاز" و "حد ظرفیت زراعی" را معادل مقدار تخلیه مجاز در نظر بگیریم، در این صورت می‌توانیم با تغییراتی موردی و جزئی در برنامه‌ریزی آبیاری مقادیر هدررفت آب در ابتدای دوره رشد (به صورت رواناب یا نفوذ عمقی) و همچنین تنش آبی وارد آمده به گیاه در بخش میانی و پایانی دوره رشد (عمق آبیاری کمتر از مقدار آب مورد نیاز بوده است) را کاهش دهیم طوری که اولاً بهره‌وری مصرف آب بهبود یابد ثانیاً عملکرد محصول و مقدار ماده خشک تولیدی ثابت مانده یا افزایش یابد. بر این اساس سناریوهای ۱ تا ۳ تعیین شدند. با این هدف که کمترین مقدار تغییر در برنامه‌ریزی آبیاری ایجاد شود. در سناریوی شماره ۱، عمق آبیاری در دوره ابتدایی رشد کاهش یافته است تا از هدررفت عمقی یا رواناب سطحی کاسته شود. در سناریوی شماره ۲، عمق آبیاری در دوره میانی و پایانی رشد افزایش یافته است تا از مقدار تنش آبی وارد آمده به گیاه کاسته شود. در سناریوی شماره ۳ دو سناریوی ۱ و ۲ به صورت توأمان اعمال شده‌اند. تاثیر اعمال هر یک از سه سناریوی مذکور بر دو متغیر بهره‌وری مصرف آب و همچنین ماده خشک تولیدی در جدول شماره ۴ درج شده است. با مقایسه نتایج اعمال هر یک از سه سناریوی یاد شده مشخص

جدول ۴- نتایج حاصل از اعمال شرایط مدیریتی متفاوت

سناریو ۳		سناریو ۲		سناریو ۱	
ماده خشک	بهره‌وری	ماده خشک	بهره‌وری	ماده خشک	بهره‌وری
(تن بر هکتار)	(کیلوگرم بر متر مکعب)	(تن بر هکتار)	(کیلوگرم بر متر مکعب)	(تن بر هکتار)	(کیلوگرم بر متر مکعب)
۲۰/۱۹	۲/۳	۲۰/۲	۲/۲۶	۲۰/۱۲۷	۲/۲۷

در شکل ۷ نتایج حاصل از اعمال سناریوی ۳ بر برنامه‌ریزی آبیاری منتخب از مرحله قبل (جدول ۴) نمایش داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود پارامتر مربوط به مقدار آب مانده در خاک نسبت به حال قبل بیشتر در محدوده تخلیه مجاز خاک قرار گرفته است.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول شماره ۴ می‌توان سناریوی شماره ۳ را در صورتی که امکان تغییر موردی عمق آبیاری در دوره‌های مختلف رشد وجود داشته باشد مناسب‌ترین حالت دانست در غیر این صورت هر یک از دو سناریوی ۱ و ۲ نیز نتایج مثبت و قابل قبولی به همراه دارند چرا که در هر سه حالت افزایش بهره‌وری مصرف آب و جرم ماده خشک به صورت همزمان رخ داده است.



شکل ۷- آبیاری در عمق‌های متفاوت و دور آبیاری ۱۰ روز

به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا کرده است. لازم به ذکر است از آنجا که مدل نسبت به داده‌های مختلف حساس می‌باشد، لذا الزام است به منظور اخذ نتایج بهتر، از دستگاه‌های مدرن و دقیق برای سنجش پارامترهایی چون سطح سایه‌انداز، رطوبت خاک، میزان CO₂ و ... استفاده شود.

منابع

امیری، ا.، بحرانی، ع.، خورسند، ا.، حق‌جو، م. ۱۳۹۴. ارزیابی مدل AquaCrop پیش‌بینی عملکرد دانه و بیوماس گندم، تحت تنش کم‌آبی. نشریه دانش آب و خاک. ۲۵: ۴/۲-۲۲۹-۲۱۷.

انصاری، ح.، میر لطیفی، س.، فرشی، ع.ا. ۱۳۸۵. تاثیر کم آبیاری بر عملکرد و کارایی مصرف آب ذرت زودرس. مجله علوم آب و خاک. ۲۰: ۲-۳۳۸-۳۴۸.

بابازاده، ح.، سرائی تبریزی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل AquaCrop تحت شرایط مدیریت کم آبیاری سویا. مجله آب و خاک (علوم و صنایع

با توجه به ارزیابی عزیزاده و همکاران (۱۳۸۹)، مدل AquaCrop قادر است مقدار عملکرد دانه را به‌خوبی شبیه‌سازی کند. بنابراین با مقایسه نتایج عملکرد دانه با مقدار ۱۰۰۹۶ کیلوگرم بر هکتار از روش ارائه شده در این پژوهش و مقدار ۶۵۷۰ کیلوگرم بر هکتار در روشی که عزیزاده و همکاران (۱۳۸۹)، برای مدیریت کم آبیاری گندم ارائه کردند، می‌توان ادعا کرد در روش ارائه شده در این پژوهش به مقدار قابل قبولی از میزان عملکرد دانه گندم با تغییر مدیریت آبیاری رسیده‌ایم.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل AquaCrop، شرایط مدیریتی مختلف بر روی محصول گندم، برای سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بهره‌وری و ماده خشک تولید شده در هر سناریو نشان داد، عملکرد محصول در شرایط مدیریتی مختلف، متفاوت است. بنابراین، با تغییر عمق آبیاری در دور ۱۰ روز به‌عنوان گزینه منتخب در مراحل مختلف رشد، مقدار ماده خشک تولیدی و میزان بهره‌وری

- Heng, L.K., Evett, S.R., Howell, T.A and Hsiao, T.C. 2009. Calibration and testing of FAO AquaCrop model for maize in several locations. *J. Agron.*, 101:488-498.
- Hsiao T. C., Heng L., 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*, 101.3:448-459.
- Raes D, Steduto P, Hsiao TC and Fereres E (2012). Reference manual AquaCrop, FAO, Land and Water Division, Rome, Italy.
- Raes D., Steduto P., Hsiao T.C., and Fereres E. 2009. AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agron. J.* 101: 438-447
- Steduto P., Hsiao T.C., Raes D., and Fereres E. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrig. Sci.* 25:189-207.
- 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. *Agron. J.* 2009 101: 426-437
- Steduto P., Hsiao T.C., Fereres E. and Raes D. 2012. Crop yield response to water. FAO Irrig. And Drain. Paper No. 66.
- Tavakoli, A.R., Mahdavi Moghadam, M. and Sepaskhah, A.R. (2015). Evaluation of the AquaCrop model for barley production under deficit irrigation and rainfed condition in Iran. *Agricultural Water Management* 161, 136-146.
- 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.
- کشاورزی)، ۲۶: ۳۲۹-۳۳۹.
- سالنامه آماری بخش کشاورزی استان خراسان رضوی سال ۱۳۹۳. سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی. آبان ماه ۱۳۹۴.
- خلیلی، ن.، داوری، ک.، علیزاده، ا.، کافی، م.، انصاری، ح. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل گیاهی آکواکراپ، مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سیسب، خراسان شمالی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸: ۵: ۹۳۹-۹۳۰.
- علیزاده، ح. ع.، نظری، ب.، رضایی اعتدالی، ه.، حانباز، ح. ر. ۱۳۸۹، ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم‌آبیاری گندم در منطقه کرخ. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴: ۲: ۳۷۳-۲۸۳.
- کریمی اورگانی، ح.، رحیمی خوب، ع.، نظری فر، م. ح. ۱۳۹۶، ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی زیست توده جو در شرایط کم آبیاری. مجله پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰: ۳: ۳۴۱-۳۵۳.
- نخجوانی مقدم، م. م.، قهرمان، ب.، داوری، ک.، علیزاده، ا.، دهقانی سانیچ، ح.، توکلی، ع. ر. ۱۳۹۵. افزایش بهره‌وری بارش برای گندم دیم در شرایط مدیریت برتر زراعی و آبیاری محدود در بالا دست حوضه کرخه. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۰: ۳: ۳۰۱-۳۱۵.
- هاشمی نیا، س. م. ۱۳۸۳. مدیریت آب در کشاورزی. انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، چاپ اول.
- Araya, A., Kisekka, I. & Holman, J. 2016. Evaluating deficit irrigation management strategies for grain sorghum using AquaCrop. *Irrigation Science*, 346: 465-481.
- Doorenbos, J and Kassam, A.H. 1979. Yield response to water. *Irrig and Drainage paper no.33.* FAO, Rome.

Improvement of Water Consumption prouctivity in Wheat Cultivars under Different Irrigation Scenarios Using Aquacrop Model (Mashhad Case Study)

M.Ghoochanian^{1*}, H.Ansari², M. Fashae³

Recived: May.30, 2018

Accepted: Sep.29, 2018

Abstract

Water is the most important limiting factor for the development of agriculture in arid and semi-arid regions. In our country, in addition to water scarcity, which has caused problems for agricultural development, the lack of optimal use of extractive water has led to a lower yield. Therefore, considering the huge share of water use in agriculture and the low water productivity, it is considered necessary to select and apply methods for improving irrigation methods and optimizing water use in plants. Come In this research, irrigation management planning for wheat plant has been investigated using AquaCrop water productivity model at different stages of growth under low irrigation and irrigation under stress conditions. Due to the fact that irrigation planning during the growth period always has a constant depth of water to the plant. Therefore, in this study, due to the water requirements of the plant at different times, the depth of irrigation water was changed . For this purpose, the required data of the model including climatic, vegetation data, applied irrigation amounts and wheat data were given to the model. Then, by changing the distance and depth of irrigation, water productivity and total dry matter of wheat were evaluated. The optimum selection for the product used in this research was obtained at 10 days intervals by application of different irrigation depths with a yield of 19.19 kg / m³.

Keywords: Dry material, Low irrigation, wheat, planning

1- Ph.D. Student in Department of Water Engineering, Agriculture College Ferdowsi University of Mashhad

2- Professo in Department of Water Engineering, Agriculture College Ferdowsi University of Mashhad

3- Ph.D. Student in Department of Water Engineering, Agriculture College Ferdowsi University of Mashhad

(*-Corresponding Author Email:ma.quchanian@gmail.com)