نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۸، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۹۵-۸۶

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 8, Mar-Apr 2014, p. 86-95

تعیین عمق بهینه آبیاری برای محصول گندم و گوجه فرنگی به‌کمک مدل Aquacrop (مطالعه موردی مشهد)

حسین انصاری[۱]، محمد سالاریان[۲*]، عاطفه تکرلی[۳]، منصوره بایرام[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۷

چکیده

امروزه ابزارهای لازم برای کمک به طراحان سیستم‌های آبیاری، مشاوران، کشاورزان و مدیران بخش کشاورزی جهت مدیریت بهینه آب آبیاری در بخش‌های مختلف کشاورزی لازم و ضروری می‌باشد؛ لذا سازمان فائو با توسعه مدل Aquacrop موجب فراهم شدن این ابزارهای ضروری مدیریتی شده است. امروزه اقدامات چندی برای حفظ و صرفه‌جویی آب در سطح مزرعه و خارج از آن قابل اجراست. ازجمله اقدامات داخل مزرعه تعیین عمق بهینه آبیاری برای محصول و کاربرد یکنواخت‌تر و کاراتر آب است. این پژوهش نیز به‌منظور تعیین عمق بهینه آبیاری و تحلیل اقتصادی آن برای محصول گندم و گوجه‌فرنگی در مزارع خراسان رضوی (مشهد) به کمک مدل AquaCrop انجام شده است. با محاسبه ۴ سطح از آب آبیاری (W_m، W_w، W_{el} و W_{lg})، نشان داده شده است که حداکثر عمق آبیاری به میزان ۳۰٪ برای گندم و ۱۰٪ برای گوجه‌فرنگی برای بدست آوردن حداکثر عملکرد، کاهش مصرف آب صورت گرفته است. منحنی توابع تولید رسم شده این محصولات نشان از افزایش عملکرد ۵۷٪ برای گندم و حدود ۲۰٪ برای گوجه‌فرنگی بوده است که در تحلیل اقتصادی سود حاصل از آن برای گندم ۵۱/۰۱ میلیون ریال و برای گوجه‌فرنگی ۱۱۷/۸۰ میلیون ریال بدست آمده است.

واژه‌های کلیدی: عمق بهینه، Aquacrop، عملکرد، تابع تولید، مشهد

مقدمه

با کمیاب‌تر شدن آب، بر اهمیت حفظ و صرفه‌جویی در آب موجود افزوده می‌شود. اقدامات چندی برای حفظ و صرفه‌جویی آب در سطح مزرعه و خارج از آن قابل اجراست. ازجمله اقدامات داخل مزرعه تعیین عمق بهینه آبیاری برای محصول و کاربرد یکنواخت‌تر و کاراتر آب است. از طرف دیگر افزایش جمعیت و نیاز روز افزون به تولید بیش‌تر مواد غذائی، لزوم توسعه اقتصادی و اجتماعی و بالاخره تغییرات اساسی در الگوی زندگی بشر از یک طرف و محدودیت منابع آب در دسترس از طرف دیگر، امروزه ارزش آب را به عنوان ماده اصلی جهان در حیات عالم هستی برای کلیه جوامع روشن نموده است. با توجه به محدودیت منابع آب برای جلوگیری از بروز تنش‌های سیاسی، اجتماعی و اقتصادی حاصل از کمبود آب و مواد غذایی، باید به سمت بهره‌وری بهینه از منابع آب و خاک و افزایش تولید محصولات کشاورزی گام برداشت که برای تحقق این هدف باید راندمان مصرف آب یا راندمان تولید را افزایش داد. از جمله فاکتورهای مهم در بالابردن راندمان تولید در واحد سطح (یا راندمان مصرف آب) استفاده صحیح از آب است. در این ارتباط مطالعه رفتار گیاهان نسبت به کم آبی و کم آبیاری و برآورد تأثیر آن در مراحل مختلف رشد از اهمیت به‌سزائی برخوردار است. ضمناً کم آبیاری به عنوان یک روش بهینه برای تولید محصول در شرایط کمبود آب مطرح می‌باشد (انصاری،۱۳۸۵). برای ارزیابی دقیق عملکرد گیاهان زراعی تحت شرایط کم‌آبیاری، نرم‌افزارها و مدل‌های شبیه‌سازی می‌توانند ابزارهای با ارزشی باشند. این مدل‌ها می‌توانند برای اهداف مختلفی مناسب باشند. تلاش‌هایی که در شبیه‌سازی مدل‌های محصول انجام شده، در ابتدا در زمینه دانش فیزیولوژیکی بوده که در اواخر سال ۱۹۶۰ توسط چند گروه محقق از جمله براور ویت و

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
۴- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان
(*-نویسنده مسئول: (Email: Salarian_mohammad@yahoo.com

همکاران انجام شده است (Brouwer & wit, 1969). تلاش‌های بعدی منجر به توسعه مدل‌های پیشرفته بیشتری شد که بعضی از آنها مانند مدل CERES براساس مقیاس تک‌گیاه عمل می‌کنند (Jones & Kiniry, 1986). مدل‌های دیگر مانند EPIC بیش‌تر بر اساس مقیاس سطح پوشش گیاهی هستند و به عنوان ابزارهای مدیریتی در امر تصمیم‌گیری عمل می‌کنند (Williams et al,1989). مشتق این مدل مانند ALMANAC (Kiniry et al,1992)، و همچنین مدل‌های CropSyte (استوکل و همکاران،۲۰۰۳)، مدل سیستم محصول DSSAT (Jones et al,2003) و مدل‌های APSIM (Keating et al,2003). مدل Aquqcrop در سال ۲۰۰۹ توسط سازمان خوار و بار جهانی (FAO) توسعه پیدا کرد تا به پروژه‌های مدیران، مشاوران، مهندسین آبیاری، کشاورزان و حتی مدیران مزرعه با تدوین دستورالعمل‌هایی به منظور افزایش بهره‌وری آب محصول، برای هر دو سیستم تولید، با آبیاری و بدون آبیاری(دیم)، کمک کند (Raes et al,2009). این مدل قابلیت برقراری توازن بین دقت، سادگی و توانایی در شبیه‌سازی بالا را دارا می‌باشد. این مدل ضمن استفاده از تعداد پارامترهای کم نسبت به سایر مدل‌ها که مستقیماً قابل اندازه‌گیری هستند، برای شبیه‌سازی عملکرد محصول، نیاز آبی گیاه و کارآیی مصرف آب گیاه تحت سناریوهای مختلف آبیاری از جمله کم آبیاری قابل استفاده می‌باشد (Heng et al,2009). پایه و اساس این مدل برای شبیه‌سازی فرآیندهای مذکور توسط استدیوتو و همکاران در سال (Steduto et al,2009)و الگوریتم مورد استفاده در مدل و توصیف عملیات توسط رائس و همکاران در سال ۲۰۰۹ (Raes et al,2009) ارائه شده است. در مدت کوتاه تحقیقات بسیاری در رابطه با عملکرد مدل Aquacrop انجام گرفته است که در ادامه به برخی از این تحقیقات اشاره می‌شود. علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) کارایی مدل AquaCrop را در منطقه‌ی کرج و برای گیاه گندم ارزیابی کردند. آنان کارایی مدل در پیش‌بینی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم را به صورت شش تیمار آبیاری (تیمارهای۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و تیمار تک‌آبیاری مطالعه کردند. نتایج آنان نشان داد که مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه، تبخیر و تعرق گیاهی (ET_c) و کارایی مصرف آب برای دور آبیاری ۷روزه، قابلیت خوبی داشته است. درحالی که کارایی این مدل در پیش‌بینی این عوامل در دور آبیاری ۱۴روزه کم‌تر بود. حیدری‌نیا و همکاران (۱۳۹۱) به واسنجی Aquacrop و بررسی دقت آن در شبیه‌سازی شاخص‌های محصول آفتابگردان در اهواز پرداختند. این واسنجی 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 پیش‌بینی برای شاخص‌های بهره‌وری آب محصول، بهره‌وری آب زیست توده، محصول و زیست توده به ترتیب عبارت بودند از: ۴/۳، ۷/۲۴، ۲۰/۸۵ و ۲۴/۶۶. بابازاده وتبریزی (۱۳۹۱) در تحقیق خود به‌منظور ارزیابی و آنالیز حساسیت مدل Aquqcrop از داده‌های مزرعه‌ای تحت کشت گیاه سویا در منطقه کرج استفاده کردند. نتایج آنان نشان داد که مدل Aquacrop در شبیه‌سازی عملکرد محصول، تبخیر و تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب سویا عملکرد قابل قبولی دارد. نتایج این تحقیق بر اساس مقادیر ضریب آنالیز حساسیت (Sc) نشان می‌دهد ورودی‌های مدل در زمان سبز شدن بذرها، رطوبت اولیه خاک و عمق آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل، هیچ حساسیتی ندارند. پتل و همکاران به ارزیابی عملکرد مدل Aquacrop در شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی تحت شرایط مختلف آبیاری پرداختند. مدل در شبیه‌سازی عملکرد تحت شرایط تنش‌های آبی زیاد، از دقت کمی برخوردار بود. همچنین مدل در پیش‌بینی زیست توده خشک دقت کمی داشت (Patel et al,2008). حسین و همکاران مدل Aquacrop را در طول سه فصل (۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹) در جنوب شرقی دمشق(سوریه) برای ارزیابی عکس العمل پنبه که به صورت آبیاری قطره‌ای، آبیاری شده بود تحت شرایط آبیاری کامل و کم آبیاری بررسی کردند نتایج آنها نشان داد که مدل Aquacrop می‌تواند یک مدل قابل قبول برای برآورد بهره‌وری محصول تحت شرایط کم آبیاری باشد(Hussein et al,2011). گارسیا ویلا و همکاران بهینه‌سازی عمق آبیاری و واکنش محصول گیاه پنبه را تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری در شمال اسپانیا با استفاده از مدل Aquacrop بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که حداکثر عمق آبیاری مناسب برای گیاه پنبه بین ۵۴۰ و ۷۴۰ میلی‌متر می‌باشد. همچنین، نتایج نشان داد که این مدل ابزار مناسبی برای ارزیابی مدیریت آبیاری پنبه می‌باشد (Gracia et al,2008). فراهانی و همکاران عملکرد مدل Aquacrop را برای گیاه پنبه تحت آبیاری قطره‌ای و برای رژیم‌های مختلف آبیاری (۴۰ تا ۱۰۰ درصد آبیاری کامل) در شمال سوریه، بررسی کردند نتایج آن‌ها میزان خطای حداکثر۱۰درصد را بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی در حالت‌های ۴۰ و ۱۰۰ درصد آبیاری کامل نشان داد، ولی در حالت ۶۰ و ۸۰ درصد آبیاری کامل، میزان خطا تقریباً تا ۳۲ درصد افزایش پیدا کرد (Farahani et al,2008). تودرویک و همکاران به مقایسه عملکرد مدل Aquacrop، مدل شبیه‌سازی محصول توسعه داده شده توسط FAO، با دو مدل CropSyst و WOFOST در شبیه‌سازی واکنش آفتابگردان تحت شرایط مختلف کم آبیاری در جنوب ایتالیا پرداختند. داده‌های ورودی مورد نیاز مدل Aquacrop در مقایسه با دو مدل CropSyst و WOFOST کمتر بود، و مدل Aquacrop به طور یکسانی زیست توده و عملکرد محصول را شبیه‌سازی کرد. استفاده از تعداد مختلف پارامترها و مدول رشد محصول توسط مدل‌های آزمایش شده اساساً هیچ تأثیری در نتایج شبیه‌سازی نداشت (Todorovic et al,2009). با این حال برای اهداف مدیریتی و شرایطی که داده‌های ورودی محدود می‌باشد، استفاده از یک مدل ساده‌تر توصیه می‌شود.

گیرتس و همکاران به ارزیابی واکنش محصول quinoa (گیاه بومی) به تنش‌های آبی در منطقه‌ای در بولیوی تحت شرایط مختلف آبیاری (از بدون آبیاری تا آبیاری کامل) پرداختند. نتایج نشان داد که مدل Aquacrop کاهش شاخص برداشت quinoa در واکنش به خشکی در طول رشد کامل دانه اولیه مشاهده شده در زمین را به خوبی شبیه سازی کرده است. همچنین، آنالیز حساسیت توانایی مدل Aquacrop را برای شبیه سازی رشد و عملکرد quinoa تأیید کرد (Geerts et al,2009). پژوهش حاضر به‌منظور مطالعه بهینه‌سازی عمق آبیاری برای محصولات کشاورزی از جمله گندم، گوجه‌فرنگی و سپس تحلیل اقتصادی به کمک روش انگلیش در دشت مشهد در استان خراسان رضوی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در حال حاضر حدود یک میلیون هکتار از وسعت استان خراسان رضوی زیر کشت محصولات آبی و دیم قرار دارد که در این راستا خراسان رضوی از نظر سطح زیرکشت، جزء ۳ استان اول کشور است. شهرستان مشهد با سطح زراعی حدود ۹۰۰۰۰ هکتار که ۵۵٪ آن زیر کشت آبی و ۴۵٪ آن کشت دیم می‌باشد جزء شهرستان‌های برتر استان خراسان رضوی بدین لحاظ می‌باشد. در این پژوهش به‌منظور بهینه‌سازی عمق آبیاری محصولات کشاورزی (گندم و گوجه فرنگی) از نرم‌افزار Aquacrop استفاده شده است. گندم آبی ۶۶٪ از کل سطح زیر کشت گروه غلات و گوجه فرنگی ۴۷٪ از کل سطح زیر کشت گروه سبزیجات را در شهرستان مشهد به خود اختصاص می‌دهند. اطلاعات جمع‌آوری شده این پژوهش مربوط به سال زراعی ۱۳۹۱-۱۳۹۰ بوده که از سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی دریافت شده است.

تئوری مدل

مدل Aquacrop براساس گام زمانی بلند مدت بر اساس نشریه بازنگری شده فائو ۳۳ عمل می‌کند. این نرم‌افزار ابزاری مفید در مدیریت آب در سطح مزرعه و بهینه‌سازی کارآیی مصرف آب می‌باشد. این مدل اثرات مقادیر مختلف آب را روی عملکرد محصول شبیه سازی می‌کند و ارزیابی کارایی این مدل در هر منطقه و برای هر محصول ضروری است. پیچیدگی پاسخ‌های گیاه به کمبود آب منجر شده تا کاربران جهت ارزیابی واکنش گیاه به استفاده از توابع تولید تجربی به عنوان کاربردی‌ترین گزینه روی آوردند. در بین این روش‌های تجربی، نشریه ۳۳ آبیاری و زهکشی فائو (Dorenbos & Kassam,1979) یک منبع مهم برای تعیین عملکرد به آب در مزارع، سبزی‌کاری‌ها و درختان محسوب می‌شود. معادله ارائه شده توسط فائو به صورت معادله ۱ است.

$$\left(1-\frac{Y_a}{Y_x}\right)=k_y\left(1-\frac{ET_a}{ET_x}\right) \quad (1)$$

که در آن Y_x عملکرد ماکزیمم، Y_a عملکرد واقعی، ET_x تبخیر و تعرق پتانسیل، ET_a تبخیر و تعرق واقعی، k_y ضریب ثابت حساسیت به کم آبی (ضریب واکنش عملکرد به آب) و $\left(1-\frac{Y_a}{Y_x}\right)$ کاهش عملکرد و $\left(1-\frac{ET_a}{ET_x}\right)$ تنش آبی می‌باشد. مدل Aquacrop از معادله (۱) با تفکیک نمودن ET_a به تعرق از سطح گیاه (T_a) و تبخیر از سطح خاک (E_s) و مجزا نمودن عملکرد نهایی به ماده خشک و شاخص برداشت توسعه یافته است. جدا کردن ET_a به T_a و E_s سبب می‌گردد که بخش غیر مؤثر آب در تولید محصول در نظر گرفته نشود. این موضوع به ویژه زمانی که تفکیک نمودن y (عملکرد نهایی) به B (زیست توده) و HI (شاخص برداشت) روابطی که بین محیط و B وجود دارد را با روابط بین محیط و HI متمایز می‌کند. در نتیجه اثر تنش آبی بر ماده خشک و شاخص برداشت به طور جداگانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. تغییرات بحث شده منجر به حل معادله‌ی زیر در مرکز مدل Aquacrop می‌گردد:

$$B_i = wp\sum T_a \quad (2)$$

$$B_i = wp^*\left(\frac{Tri}{ET_{r,i}}\right) \quad (3)$$

که در آن: wp^* بهره‌وری آب یا کارایی مصرف آب بوده که با نرمال کردن مناسب برای شرایط اقلیمی متفاوت مقدار آن به یک پارامتر ثابت تبدیل می‌شود (کیلوگرم ماده خشک در مترمربع به ازای مصرف یک میلی‌متر آب تعرق یافته در طول زمانی که ماده خشک تولید شده است)، B_i زیست توده نهایی (عملکرد بیولوژیک)، T_{ri} تعرق روزانه (میلی‌متر) و $ET_{r,i}$ تبخیر و تعرق روزانه (میلی‌متر بر روز) می‌باشد. برتری معادله ۲ بر معادله یک به این دلیل است که در معادله (۲) شبیه‌سازی فرایندهای رشد گیاه در آن با استفاده از گام‌های زمانی روزانه صورت می‌گیرد، در حالی که در معادله (۱) شبیه‌سازی ماهانه یا فصلی انجام می‌شود. در تمام دوره رشد گیاه مقدار آب ذخیره شده در ناحیه ریشه از طریق بیلان آبی جریان ورودی (آبیاری یا بارندگی) و خروجی (رواناب، نفوذ عمقی و تبخیر و تعرق) در ناحیه ریشه شبیه‌سازی می‌شود. شدت ضریب تنش آبی (K_s) مؤثر بر توسعه پوشش تاجی (cc)، پیری و کاهش پوشش تاجی و شاخص برداشت (HI) به وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. به‌علاوه بعضی از 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 آفات و بیماری لحاظ نشده است. در حقیقت مانند سایر مدل‌ها مدل Aquacrop شامل جنبه‌های ۱-خاک: توازن آبی، ۲-گیاه: مراحل رشد و نمو آن، ۳- اتمسفر: رژیم حرارتی، بارندگی،

تقاضای تبخیری و غلظت دی‌اکسیدکربن است. علاوه بر آن برخی از جنبه‌های مدیریتی مانند آبیاری و کوددهی در نظر گرفته می‌شود. ویژگی‌های خاص که AquaCrop را از سایر مدل‌های گیاهی متمایز می‌کند، عبارتند از: تمرکز بر روی آب؛ استفاده از پوشش تاج به‌جای استفاده از شاخص سطح برگ؛ استفاده از بهره‌وری آب (WP)، تبخیر مورد نیاز اتمسفر و غلظت Co_2 که در این مدل ظرفیت برون‌یابی به مکان‌های گوناگون، فصل، آب و هوا، از جمله حالات آب و هوای آینده نرمال است؛ تعداد نسبتاً کم پارامترها؛ داده‌های ورودی است که نیاز به پارامترها و متغیرهای حسی و عمدتاً آشکار دارد؛ تعادل بین دقت و سادگی و کاربرد آن در سیستم‌های مختلف کشاورزی سراسر جهان می‌باشد. این مدل با فرآیندهای اساسی بهره‌وری محصول و واکنش به کمبود آب، در هر دو دیدگاه فیزیولوژیکی و زراعی درگیر است.

داده‌های ورودی مدل

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. داده‌های دمای روزانه، مقدار بارندگی روزانه و سایر اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه‌ی ET از اطلاعات آماری سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۹ ایستگاه سینوپتیک مشهد استخراج گردید.

داده‌های مربوط به خاک

داده‌های مورد نیاز خاک ویژگی‌های هیدرولیکی شامل هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{sat}) و رطوبت حجمی اشباع (θ_{Sat})، نقطه ظرفیت زراعی (FC) و نقطه پژمردگی دائم (PWP) است (جدول۱).

جدول۱-داده‌های ورودی مربوط به خاک برای مدل Aquacrop

خاک	مقدار
نوع خاک	لوم
هدایت هیدرولیکی اشباع (mm/day)	۲۵۰
رطوبت اشباع (٪حجمی)	۴۶
نقطه ظرفیت زراعی (٪حجمی)	۳۱
نقطه پژمردگی دائم (٪حجمی)	۱۵

داده‌های گیاهی

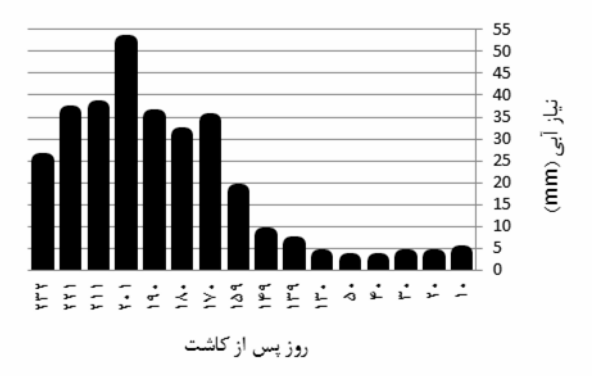
پارامترهای محصول را برای محصولات عمده کشاورزی توسط FAO کالیبره شده و آن‌ها به صورت مقدار پیش فرض در مدل قرار دارند. داده‌های گیاهی برای گیاه گندم و گوجه شامل پارامترهای ثابت و داده‌های ویژه کاربر می‌باشند. مقادیر پارامترهای گیاهی ثابت برای اکثر گیاهان زراعی به عنوان پیش فرض در مدل وجود دارد. این پارامترها با موقعیت جغرافیایی و گذشت زمان تغییر نمی‌کند و با استفاده از داده‌های رشد گیاه در شرایط مطلوب و بدون محدودیت واسنجی شده‌اند و برای برخی محصولات زراعی مهم وجود دارد (گندم، گوجه و...) از آنجا که اختلاف رقم‌های هر گونه زراعتی ناچیز بوده لذا از این مورد صرف نظر شده است. پارامترهای مربوط به مکان و پارامترهای ویژه گیاهی طرح هم‌چون، ویژگی آب و خاک، حداکثر عمق ریشه، تراکم گیاه، زمان کاشت و مدیریت آبیاری جزء پارامترهای مخصوص کاربر می‌باشند(جدول۲).

جدول۲-داده‌های ورودی مربوط به گیاه برای مدل Aquacrop

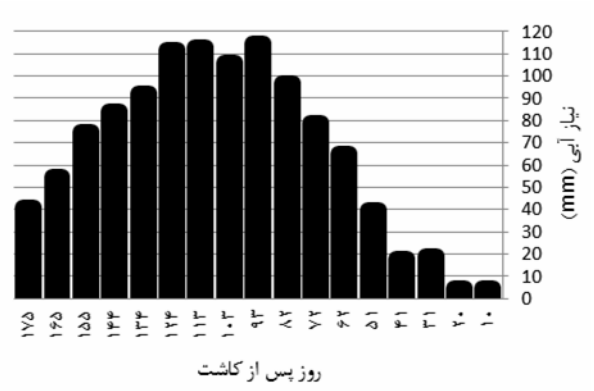
ورودی	گندم	گوجه فرنگی
زمان کاشت	۱ نوامبر ۲۰۰۹-۲۰۱۰	۲۵ مارس ۲۰۱۰
ضریب تنش آبی، ks (٪)	۱۲	۱۲
حداکثر عمق ریشه (متر)	۱/۵	۱
تراکم گیاه در هر هکتار	۴۵۰۰۰۰	۳۳۰۰
حداقل رطوبت جوانه زنی (٪)	۲۰	۲۰

داده‌های مدیریتی

این داده‌ها در دو بخش مدیریت مزرعه و مدیریت آبیاری می‌باشد. که مدیریت مزرعه انتخاب سطح حاصلخیزی خاک، و شیوه‌های تعادل آب خاک مانند مالچ برای کاهش تبخیر خاک، پشته برای ذخیره آب در مزرعه، و شیوه شخم است. در مدیریت آبیاری کاربر انتخاب می‌کند که محصول دیم و یا آبیاری است. اگر آبیاری است کاربر می‌تواند سیستم آبیاری را انتخاب کند، بخشی از سطح مرطوب، و مشخص برای تشخیص زمان آبیاری، کیفیت آب آبیاری، زمان و میزان آبیاری اعمال شده است که با توجه به آبیاری رایج منطقه روش آبیاری کرتی انتخاب گردید و داده‌های نیاز آبی از نرم افزار NETWAT استخراج گردید و در مدیریت مزرعه از هیچ پشته و مالچی استفاده نگردید(شکل ۱و۲).



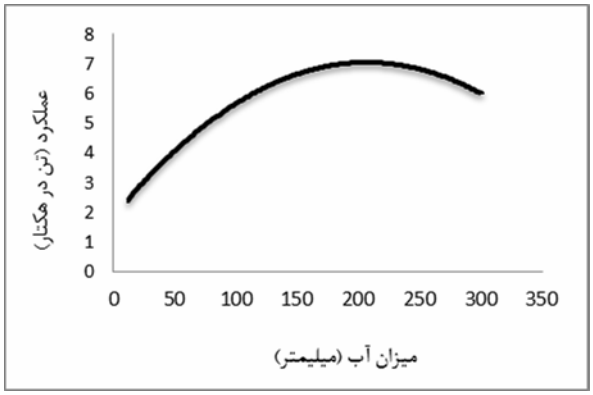
شکل ۱- مقدار نیاز آبی گیاه گندم برای هر مرحله رشد



شکل ۲- مقدار نیاز آبی گیاه گوجه فرنگی برای هر مرحله رشد

نتایج و بحث

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. نکته‌ای که در منحنی و توابع تولید باید در نظر داشت، محدودیت این معادله است که صحت آن‌ها فقط در یک دامنه خاص است. علاوه بر آن هر محصول و هر گونه گیاهی در هر شرایط آب و هوایی، تابع خاص خود را داشته و لازم است نتایج را فقط در آب و هوای مشابه و یا شرایط یکسان به کار برده و برای هر گونه گیاهی منحنی خاص خود را به دست آورد (شکل ۳و۴).

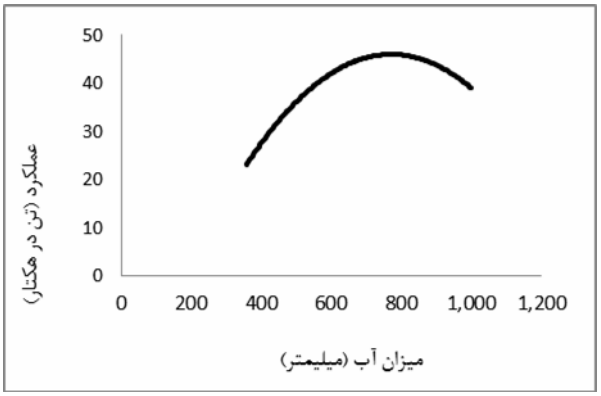


شکل۳- منحنی تابع تولید محصول گندم به کمک Aquacrop

همانطور که در ۲ شکل فوق مشاهده می‌شود، میزان آب آبیاری به صورت تجمعی در نظر گرفته شده است. میزان عملکرد محصول نسبت به آب آبیاری نشان می‌دهد که عملکرد در ابتدا روندی صعودی با شیب تند داشته و سپس با یک شیب ملایم به حداکثر مقدار خود که برای گندم آبی و گوجه فرنگی به ترتیب برابر با ۷/۲ و ۴۶/۷ تن بر هکتار می‌باشد، میرسد. پس از آن با توجه به میزان افزایش آب آبیاری، روند نزولی ملایمی را پیدا می‌کند که بیانگر این است که با افزایش مقدار آب آبیاری و افزایش میزان رطوبت خاک، زمین به حالت غرقابی درآمده که منجر به خفگی ریشه گیاه و در نهایت کاهش میزان تولید محصول در زمین خواهد شد. این درحالی است که میزان عملکرد واقعی گندم آبی و گوجه فرنگی برطبق سالنامه منتشر شده از سازمان جهاد کشاورزی استان خراسان رضوی در سال زراعی مورد مطالعه این پژوهش به ترتیب برابر با ۳/۰۷ و ۳۷/۸۸ تن بر هکتار می‌باشد و نشان دهنده‌ی آن است که به کمک محاسبات صورت گرفته در این مدل میزان عملکرد گندم ۵۷٪ و عملکرد گوجه فرنگی را با تقریب قابل قبول ۲۰٪ افزایش یافته است. برای تحلیل اقتصادی تعیین عمق بهینه آبیاری روش‌های مختلفی از جمله فرض توزیع توانی و تابع توزیع حاکم بر مشاهدات وجود دارد که در این پژوهش از مدل انگلیش و همکاران (English et al,1990) که یک مدل بهینه‌سازی درآمد خالص (آب مصرفی) می‌باشد، استفاده شده است. در مدل انگلیش و همکاران اثر عمق آبیاری بر میزان تولید محصول به صورت یک منحنی درجه ۲ و همچنین اثر آن بر میزان هزینه به صورت تابع خطی با توجه به قیمت ثابت محصول و هزینه متغیر به‌دست می‌آید. شکل کلی و عمومی روابط تابع تولید و هزینه بر اساس این مدل به صورت زیر می‌باشد:

$$y(W) = a_y + b_y W + c_y W^2 \quad (۴)$$

$$c(W) = a_c + b_c W \quad (۵)$$



شکل٤-منحنی تابع تولید محصول گوجه فرنگی به کمک Aquacrop

که در آن Y(w) میزان عملکرد، c(w) هزینه و W میزان عمق آب مصرفی، می‌باشد. با توجه به منحنی تابع تولید و رسم بهترین برازش و تعیین تابع تولید مقادیر ثابت a، b و c برای معادله ۴ بدست آمده است. مقدار هزینه ثابت (هزینه عملیات آماده سازی، داشت، کاشت و برداشت) بر طبق مقادیر ارائه شده سالنامه جهاد کشاورزی خراسان رضوی بزرگ در سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰ برای محصول گندم آبی ۹۷۰۹۵۵ ریال و برای محصول گوجه فرنگی ۲۹۲۲۷۰۴ ریال در نظر گرفته شده که در جدول، ۳ هزینه هر مرحله قابل مشاهده می‌باشد که

از محاسبه هزینه کل این مقادیر، مقدار a در معادله ۵ بدست می‌آید. مقدار هزینه متغیر(b در معادله ۵) بر طبق نظر وزارت نیرو برای مصرف یک مترمکعب آب در بخش کشاورزی ۸۵۰ ریال درنظر گرفته شده است. معادلات توابع ریاضی عملکرد و هزینه در مقابل آب مصرفی در جدول۴ آورده شده است.

محاسبه عمق‌های بهینه

عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین (W_l)، عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت آب (W_w)، عمق معادل آبیاری ماکزیمم (W_{el}) و ماکزیمم عمق آب مصرفی (W_m) با توجه به مدل ارائه شده توسط انگلیش و همچنین بر اساس ضرایب توابع تولید و هزینه محاسبه شده است. روابط مورد استفاده به صورت زیر می‌باشد. عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین توسط رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$W_l = \frac{b_0 - P_c b_1}{2 P_c c_1} \quad (۶)$$

عمق آب مصرفی گیاه در طول فصل زراعی در شرایط محدودیت آب از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$W_w = \frac{(P_c a_1 - a_0)^{1/2}}{P_c c_1} \quad (۷)$$

برای به‌دست آوردن عمق معادل آبیاری ماکزیمم، ابتدا باید پارامتر Z با استفاده از رابطه زیر محاسبه شود:

$$Z_1 = \left[(P_c b_1 - b_0)^2 - 4 P_c c_1 \left(\frac{P_c b_0^2}{2 c_1} - \frac{b_0 b_1}{2 c_1}\right)\right]^{1/2} \quad (۸)$$

با توجه به مقدار پارامتر Z_1، عمق معادل آب مصرفی که سود ناشی از آن برابر کاربرد ماکزیمم عمق آب مصرفی گیاه می‌باشد، از رابطه زیر محاسبه خواهد شد:

$$W_{el} = \frac{b_0 - P_c b_1 + Z_1}{2 P_c c_1} \quad (۹)$$

همچنین، ماکزیمم عمق آب مصرفی عبارت است از:

$$W_m = -\frac{b_1}{2 c_1} \quad (۱۰)$$

عمق‌های مورد نظر برای هر یک از محصولات گندم آبی و گوجه فرنگی محاسبه شده است. نتایج در جدول (۵) آورده شده است.

مطابق جدول ۵، محدوده‌ای که در آن کم‌آبیاری نسبت به آبیاری کامل سودآورتر خواهد بود، برای گیاه گندم آبی در آغاز ۱۹/۲۸ سانتی‌متر و یا ۹۲/۳ درصد آبیاری کامل، و برای گیاه گوجه فرنگی در آغاز ۷۲/۳۱ سانتی‌متر و یا ۹۷/۸ درصد آبیاری کامل می‌باشد. عمق بهینه آبیاری برای دو محصول مورد نظر گندم آبی و گوجه فرنگی در حالت محدودیت زمین، به ترتیب ۹۶/۶ و ۹۸/۹ درصد آبیاری کامل و در حالت محدودیت آب به ترتیب ۸۱/۵ و ۵۸/۳ درصد آبیاری کامل می‌باشند. این نتایج به دو طریق می‌تواند توسط آب‌بران و کشاورزان مورد استفاده قرار گیرد.

جدول۳- متوسط هزینه تولید یک هکتار محصولات کشاورزی به تفکیک مراحل مختلف رشد(ریال)

نام محصول	آماده سازی زمین	کاشت	داشت	برداشت	زمین	کل
گندم آبی	۹۸۹۸۰	۲۱۳۳۶۵	۴۴۴۵۱۴	۹۶۶۲۱	۱۱۷۴۷۵	۹۷۰۹۵۵
گوجه فرنگی	۱۸۲۸۳۱	۴۳۴۷۶۳	۱۱۰۶۰۴۸	۱۰۶۲۲۹۹	۱۳۶۷۶۳	۲۹۲۲۷۰۴

جدول٤- توابع ریاضی آب مصرفی-عملکرد و آب مصرفی-هزینه

محصول	تابع آب مصرفی-عملکرد	R^2	تابع آب مصرفی-هزینه
گندم	$y = -w^2 + ۴۱۴/۰۱w + ۲۶۹۰$	۰/۹۷	c=۸۵۰۰۰w+۹۷۰۹۵۵
گوجه فرنگی	$y = -۰/۴۵w^2 + ۶۶۵w + ۴۲۵۷$	۰/۹۷	c=۸۵۰۰۰w+۲۹۲۲۷۰۴

y: عملکرد(کیلوگرم در هکتار)، w: عمق آب مصرفی(سانتی‌متر) و c: متوسط هزینه کل(ریال در هکتار)

جدول۵- نتایج حاصل از تعیین عمق‌های بهینه برای گندم و گوجه فرنگی

محصول	عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت زمین (سانتی متر)	عمق آب مصرفی در شرایط محدودیت آب (سانتی‌متر)	عمق معادل آبیاری ماکزیمم (سانتی‌متر)	عمق آبیاری ماکزیمم (سانتی‌متر)	آب صرفه‌جویی شده فصل زراعی (سانتی‌متر)
گندم	۱۹/۹۹	۱۶/۸۹	۱۹/۲۸	۲۰/۷۰	۳/۸۱
گوجه فرنگی	۷۳/۱۰	۴۳/۱۵	۷۲/۳۱	۷۳/۸۹	۳۰/۷۳

جدول٦- میزان درآمد خالص ناشی از هر عمق آبیاری برآورد شده

عمق	گندم آبی درآمد خالص (میلیون ریال بر هکتار)	گوجه‌فرنگی درآمد خالص (میلیون ریال بر هکتار)
W_m	۶۲/۵	۱۵۳/۳
W_{el}	۵۹/۵	۱۴۹/۶
W_w	۵۴/۷	۷۸/۰
W_l	۶۱/۱	۱۵۱/۵

جدول ۷- نتایج تحلیل اقتصادی و میزان هزینه و سود در محصولات گندم و گوجه فرنگی به روش انگلیش

رقم	سطح کشت شده (هکتار)	هزینه هرهکتار (میلیون ریال)	هزینه کل (میلیارد ریال)	درآمد هر هکتار (میلیون ریال)	درآمد کل (میلیارد ریال)	سود هر هکتار (میلیون ریال)	سود کل (میلیارد ریال)
گندم	۱۸۲۰۰	۱۱/۴۶	۲۰۸/۷۳	۶۲/۴۸	۱۱۳۷/۲۶	۵۱/۰۱	۹۲۸/۵۲
گوجه فرنگی	۴۵۰۸	۳۵/۵۰	۱۶۰/۰۶	۱۵۳/۳۱	۶۹۱/۱۳	۱۱۷/۸۰	۵۳۱/۰۵

روش اول به این صورت است که آب‌بر می‌تواند تخمینی از مقدار آب بهینه را به عنوان یک دستورالعمل دقیق برای مقدار آب کاربردی استفاده کند. روش دوم این است که آب‌بر می‌تواند تخمینی از مقدار آب بهینه را مبنای خود قرار داده و همزمان با آن محدوده‌ای از کم-آبیاری که سودآور خواهد بود را به عنوان یک ریسک قابل پیش‌بینی نیز در نظر بگیرد. که این میزان ریسک بستگی به محدوده‌ی کم-آبیاری انتخابی دارد و مسلماً هرچه این محدوده کوچک‌تر و محدودتر باشد، خطر ریسک بیشتر خواهد بود و نیاز به بررسی و مدیریت دقیق دارد. بنابراین آب‌بران و کشاورزان با برآوردهای خود از میزان ریسک و سود، می‌توانند یک سطحی از آب را برای استفاده انتخاب کنند. با محاسبه درآمد خالص مطابق جدول ۶ مشاهده می‌شود که، در حالت محدودیت شرایط زمین، استفاده از مقدار بهینه آب آبیاری، درآمد خالص بیش‌تری را نسبت به شرایط محدودیت آب دارا خواهد بود. سود تحقق یافته از آبیاری، توسط مقدار آب کاربردی، رطوبت پیشین، شکل تابع تولید محصول، هزینه‌های ثابت و متغیر آبیاری و قیمت محصول تعیین خواهد شد. درآمد خالص در هکتار تابعی از آب کاربردی است. میزان درآمد خالص در این مطالعه نیز براساس مدل انگلیش از رابطه‌ی زیر محاسبه شده که در جدول (۷) نتایج آن نشان داده شده است

$$i_1(W) = P_c . y(W) - c(W) \quad (۱۱)$$

که در این رابطه ، i(W) میزان درآمد خالص برحسب ریال بر هکتار، P_c قیمت واحد محصولات می‌باشد (برای گندم ۶۰۰۰ ریال و برای گوجه فرنگی ۱۲۰۰۰ریال درنظر گرفته شده است). با توجه به این جدول میزان سود خالص هر هکتار از محصولات گندم و گوجه فرنگی به ترتیب ۵۱/۰۱ و ۱۱۷/۸۰ میلیون ریال بوده و با نوجه به سطح کشت شده هر یک از محصولات میزان سود حاصل برای آنها محاسبه شد و در جدول ۷ قابل مشاهده می‌باشد.

نتیجه‌گیری

امروزه ابزارهای لازم برای کمک به طراحان سیستم‌های آبیاری، مشاوران، کشاورزان و مدیران بخش کشاورزی جهت مدیریت بهینه آبیاری در بخش‌های مختلف کشاورزی لازم و ضروری می‌باشد؛ ازین رو سازمان فائو با توسعه مدل Aquacrop موجب فراهم شدن این ابزارهای ضروری مدیریتی شده است. این مدل ضمن استفاده از تعداد پارامترهای کم نسبت به سایر مدل‌ها که مستقیماً قابل اندازه‌گیری هستند، برای شبیه‌سازی عملکرد محصول، نیاز آبی گیاه و کارآیی مصرف آب گیاه تحت سناریوهای مختلف آبیاری از جمله کم آبیاری قابل استفاده می‌باشد. در این پژوهش با محاسبه‌ی منحنی توابع تولید دو محصول گندم آبی و گوجه فرنگی در منطقه مشهد با استفاده از نرم افزار Aquacrop و محاسبه ۴ سطح از آب آبیاری (W_m، W_w ، W_{el}وW_l)، به تعیین عمق بهینه آبیاری متناسب با حداکثر سود پرداخته شده است. به طور کلی نتایج حاصله از این مطالعه در موارد زیر خلاصه می‌شود:

– از آنجا که میزان عمق بهینه آبیاری فقط قابل تخمین است و به طور دقیق نمی‌توان آن را تعیین کرد، با این حال، آبیاری در محدوده‌ی بین ماکزیمم عمق آب مصرفی و عمق معادل آبیاری ماکزیمم (حالت کم آبیاری) نسبت به آبیاری کامل سودآورتر خواهد بود.

– با توجه به محدوده‌ی کم‌آبیاری انتخاب شده، کشاورز بر اساس برآوردهای خود از میزان ریسک و سود و همچنین متناسب با شرایط

خود، می‌تواند یک سطحی از آب را برای آبیاری انتخاب کند.

– باتوجه به اینکه نیاز خالص آبیاری برای محصول گندم و گوجه برای دشت مشهد با نرم افزار Netwat به ترتیب ۲۹۹ میلی‌متر و ۸۱۱ میلی‌متر بدست آمده ولی با استفاده از نرم افـزار Aquacrop حـداکثر عمق آبیاری برای بدسـت آمـدن حـداکثر محـصول بـه ترتیـب ۲۰۷ میلیمتر(۳۰٪ کاهش) و ۷۳۸ میلی‌متـر(۱۰٪ کـاهش) بـه‌دسـت آمـده است. این درصورتی است که حداکثر عملکرد محـصول بـرام گنـدم و گوجه‌فرنگی بـر طبـق سـالنامه اسـتان خراسـان رضـوی بـرای ایـن محصولات به ترتیب ۳/۰۷ و ۳۷/۸۸ تن بر هکتار ثبت شده است ولی به کمک این نرم‌افزار مقدار بیشینه محصول با توجه به حداکثر عمـق آبیاری اشاره شده ۷/۲ و ۴۶/۷ تن بر هکتار بدست آمده است؛ لـذا بـه میزان ۵۷٪ برای گنـدم و حـدود ۲۰٪ بـرای گوجـه‌فرنگـی افـزایش عملکرد را نشان می‌دهد.

– میزان آب صرفه جویی‌شده در هر فصل کـشت از محـصولات گندم و گوجه فرنگی بـا اسـتفاده از ایـن نـرم‌افـزار بـه ترتیـب ۳۸/۱ میلی‌متر(حدود ۲۰٪ عمـق بیـشینه) و ۳۰۷/۳ میلـی متـر(حـدود ۴۲٪ عمق بیشینه) بدست آمده است.

– میزان سود حاصله در هـر هکتـار از محـصولات گنـدم آبـی و گوجه‌فرنگی برای حداکثر عمق آبیاری در شرایط بهینه به ترتیب برابر با ۵۱/۰۱ و ۱۱۷/۸۰ میلیون ریال به‌دست آمده است.

منابع

انصاری، ح.، میرلطیفی، س.م و فرشی،ع.ا. ۱۳۸۵. تأثیر کم آبیاری بـر عملکرد و کـارایی مـصرف آب ذرت زودرس. مجلـه علـوم آب و خاک. ج۲۰. شماره ۲.

بابازاده، ح و سرائی تبریزی م .۱۳۹۱. ارزیابی مدل Aquacrop تحت شرایط مدیریت کـم آبیـاری سـویا. نـشریه آب و خـاک (علـوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۶ ، شماره ۲.

حیدری نیا، م.، ناصری، ع.ع و برومندنسب، س. ۱۳۹۱ . بررسی امکان کاربرد مدل Aquacrop در برنامه ریـزی آبیـاری آفتـابگردان در اهواز. مجله مهندسی منابع آب ، سال پنجم، بهار ۱۳۹۱.

سالنامه آماری بخش کشاورزی اسـتان خراسـان رضـوی سـال۱۳۹۰. سازمان جهاد کشاورزی خراسان رضوی. مرداد ماه ۱۳۹۱.

علیزاده ح .، نظری، ب.، پارسی نژاد، م.، رمضانی اعتدالی، ه و جانبـاز، ح. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل Aquacrop در مدیریت کم آبیاری گنـدم در منطقه کرج. مجله آبیاری و زهکشی ایران، (۴): ۲۸۳–۲۷۳.

Brouwer,R and C.T. de Wit. 1969. A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences. In .W.J. Whittington (.ed.) Root growth. Proc. 15th Easter School in Agric. Sci. Butterworths, London. p. 224–244.

English.M., James,L and Chen,C.F. 1990. Deficit Irrigation:II.Observation in Columbia Basin. Irrigation and Drain J.16: 413-426.

Doorenbos,J and Kassam,A.H .1979. Yield response to water. Irrig and Drainage paper no.33. FAO, Rome.

Farahani,H.J., Izzi,G and Oweis,T.Y. 2008. Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigation Cotton. Agron J.101:469-476 .

Garcia-Vila,M., Fereres,E., Orgaz,F and Stedute, P. 2008. Deficit Irrigation Optimazation of Cotton with AquaCrop. Agron J. 101:477-478.

Geerts,S., Raes ,D., Garcia,M., Miranda,R., Cusicanqui,J.A., orge Taboada,C., Mendoza,J., Huanca, R., Mamani,A., Condori,O., Mamani,J., Morales,B., Osco,V and Steduto,P. 2009. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability with AquaCrop. Agronomy Journal vol:101 issue:3 pages:499-508.

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., Steduto,P., Raes,D and .Fereres, E. 2008. AquaCrop- The FAO crop model to simulate yield response to water. II. Main algorithms and software description. Agron J.101: 448- 459.

Hussein,F., Janat,M and Yakoub,A. 2011.Simulating cotton yield response to deficit irrigationwith the FAO AquaCrop model. Spanish Journal of Agricultural Research. 9(4), 1319-1330.

Jones,J.W., Hoogenboom,G., Porter,C.H., Boote,K.J., Batchelor,W.D., Hunt,L.A., Wilkens,U., Singh,A., Gijsman,J and Ritchie,J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. Eur. J. Agron. 18:235-265.

Jones,C.A and Kiniry.J.R. 1986. CERES-MAIZE:A Simulation Model of Maize Growth and Development. Texas A&M University Press, College Station, p.194.

Keating,B.A., Carberry,P.S., Hammer,G.L., Probert,M.E., Robertson,M.J., Holzworth,D., Huth,N.I., Hargreaves,J.N.G., Meinke,H., Hochman,Z., McLean, G., Verburg,K., Snow,V., Dimes,J.P., Silburn,M., Wang,E., Brown,S., Bristow,K.L., Asseng,S., Chapman,S., McCown,R.L., Freebairn,D.M., Smith,C.J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. European Journal of Agronomy 18, 267-288.

Kiniry,J.R., Williams,J.R., Gassman,P.W and Debaeke.

Stöckle,C.O., Donatelli,M and Nelson,R. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. Europ. J. Agronomy 18:289-307.

Todorovic,M., Albrizio,R., Zivotic,L., Therese Abi Saab,M., Stockle,C and Steduto, P. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST Models in the simulations of Sunflower growth under different water regimes. Agron. J. 101:509-521.

Williams,J.R., Jones,C.A and Dyke,P.T. 1989. EPIC Erosion /productivity impact calculator. 1. The EPIC model. USDA-ARS, Temple, TX.

P. 1992. A general process-oriented model for two competing plant species. Trans. ASAE. 35:801-810.

Patel,N., Kumar,P and Singh,N. 2008. Performance evaluation of AquaCrop in simulating Potato yield under varying water availability condition. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi 110012, India .

RAES,D., STEDUTO,P., HSIAO,T.C., FERERES E. 2009. AquaCrop–the FAO crop model to simulate 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. 2009. AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. J. Agron. 101:426–437.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 8, Mar-Apr 2014, p. 86-95

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد۸، فروردین - اردیبهشت ۱۳۹۳، ص. ۹۵-۸۶

Determining Optimum Irrigation Depth for Wheat and Tomato Crops Using Aquacrop Model (A case study in Mashhad)

H.Ansari[1] , M.Salarian [2*], A.Takarli [3], M.Bayram[4]
Received: Aug.27,2013 Accepted: Feb.26,2014

Abstract

Nowadays, using necessary tools is essential in order to help irrigation systems for best management of irrigation water in different parts of agriculture. As a result, by developing Aquacrop model, FAO organization has made these essential tools available. Currently, few actions are practicable for sanitizing and reserving water in farms and other areas outside of them. Determining optimum depth of irrigation for the crop and more uniform and effective application of water are some of other practicable actions that could be applied inside the farms. The objectives of this study are to determine optimum depth of irrigation and economic analysis of it for wheat and tomato crops in Khorasan Razavi (Mashhad) farms using Aquacrop model in Eastern Iran. By estimating four levels of irrigation water (W_m, W_w, W_{el}, W_l), this study showed that in order to calculate maximum depth of irrigation for maximum yield of wheat and Tomato crops, decreased water usage by 30 and 10 percent, respectively. The production function curves for these crops have indicated 57 and 20 percent increase of yield for Wheat and Tomato, respectively. Economic analysis of results revealed that the profit resulted from this increase in yield was 51.01 million Rials for wheat and 117.80 million Rials for tomato.

Keywords: Optimum depth, Aquacrop, Yield, Production function, Mashhad.

1- Associate professor in Department of Water Engineering, Agriculture College Ferdowsi University of Mashhad
2- Master science Graduated in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Agriculture College, Ferdowsi University of Mashhad
3- Master Science Graduated in Hydraulic Structure, Department of Water Engineering, Agriculture College, Bu-Ali Sina University of Hamedan
4- Master Science Graduated in Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Agriculture College, Bu-Ali Sina University of Hamedan
(*-Corresponding Author Email:Salarian_mohammad@yahoo.com)