بررسی عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop تحت تنش خشکی در منطقه سیستان

احمد مهربان*[۱] و سیدمهدی جوادزاده[۲]

۱- دانشیار، گروه مهندسی کشاورزی، واحد زاهدان، دانشگاه آزاد اسلامی، زاهدان، ایران
۲- استادیار، گروه زراعت و اصلاح‌نباتات، واحد ایرانشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ایرانشهر، ایران
ایمیل نویسنده مسئول: ahmadmh2004@yahoo.com
(تاریخ دریافت :۱٤۰۲/۲/٤- تاریخ پذیرش: ۱٤۰۲/۳/۳۰)

چکیده:

امروزه مدل‌های شبیه‌ساز رشد گیاهان زراعی عامل مهم ارزیابی عملکرد گیاهان زراعی محسوب می‌شوند. یکی از انواع این مدل‌ها، مدل AquaCrop است. بدین منظور آزمایشی در سال ۱٤۰۰-۱۳۹۹ بر روی گندم رقم هامون به منظور شبیه‌سازی برخی پارامترهای رشد در منطقه سیستان انجام گرفت. داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل عبارتند از: موقعیت مکانی، اطلاعات هواشناسی، اطلاعات خاک‌شناسی، عملیات زراعی (مدیریتی) که برای واسنجی و اعتباریابی مدل مورد استفاده قرار گرفت. پس از جمع‌آوری داده‌ها شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل و عملکرد قابل دسترس و تعیین شکاف عملکرد گندم با استفاده از مدل AquaCrop انجام شد. عملکرد واقعی مزارع گندم از مرکز تحقیقات کشاورزی منطقه حاصل گردید. در این تحقیق با استفاده از مدل عملکرد پتانسیل گندم در منطقه شبیه سازی شد و با محاسبه عملکرد قابل حصول و واقعی بدست آمده از نتایج، شکاف عملکرد منطقه برای گندم تعیین شد. نتایج نشان داد که عملکرد پتانسیل (عملکرد شبیه سازی شده توسط مدل تحت شرایط اپتیمم)، قابل حصول (عملکرد بدست آمده در آزمایش مزرعه‌ای و تحت شرایط مطلوب مدیریتی) و واقعی (میانگین عملکرد بدست آمده توسط کشاورزان منطقه) به ترتیب ۵۸۳۰، ۳٦٤۰ و ۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار است. در بین عوامل محدود کننده و کاهنده مورد بررسی مشخص شد که آبیاری مهمترین عامل محدود کننده عملکرد گندم در منطقه محسوب می‌شودو همچنین مشاهده گردید که عوامل مدیریتی منجر به ۱۵/۲ درصد کاهش عملکرد گندم نسبت به عملکرد پتانسیل شده است. لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که با شناسایی عوامل مؤثر در شکاف عملکرد، می‌توان با بهینه‌سازی آن‌ها، عملکرد گندم در منطقه سیستان را به میزان قابل توجهی افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: مدل AquaCrop، گندم، عملکرد

مقدمه

گندم (*Triticum aestivum* L.) از گیاهان تیره غلات از مهمترین گیاهان زراعی در سراسر جهان می‌باشد (Imam, 2012). با توجه به رشد روز افزون جمعیت کشور و ناکافی بودن تولید گندم در کشور برای تأمین نیاز داخلی، لزوم توجه بیشتر به مطالعه و پژوهش به منظور افزایش عملکرد در واحد سطح و همچنین پایداری عملکرد این گیاه درطی سال‌های آینده بیشتر به نظر می‌رسد.

از آنجایی که گندم نقش اساسی را در امنیت غذایی کشور ایفا می‌کند، پیش بینی میزان تولید گندم قبل از برداشت و در اواسط فصل، زمان کافی را برای مقابله با کمبود فراهم می‌کند. برای پیش بینی موثر عملکرد گیاهان زراعی، ابتدا باید عوامل تعیین کننده و محدود کننده عملکرد را شناخت. بر اساس یک نظریه عملکرد دانه در زمانی که آب محدود کننده عملکرد است، تابعی از مقدار آب در دسترس گیاه، کارآیی مصرف آب و شاخص برداشت باشد (Richards *et al*., 2001).

از این میان آنچه مهمترین عامل محدود کننده عملکرد می‌باشد، میزان آب قابل دسترس گیاه است. بنابراین مدل‌های مختلف، عمدتاً از این دو متغیر برای پیش بینی عملکرد استفاده می‌کنند.

مدل‌ها ابزارهایی علمی هستند که به کمک آنها می‌توان به درکی از واقعیت، البته نه کل آن، بلکه بخش مفید و قابل فهم آن دست یافت.

ساخت مدل‌های شبیه‌سازی در کشاورزی و بخصوص در تولید محصولات زراعی در حقیقت بر پایه پیدا کردن روابط منطقی و شناخت آنها در این قبیل سیستم‌ها و تفسیر و تشریح این روابط با استفاده از شاخص‌های ریاضی است. امروزه با امکانات گسترده‌ای که در زمینه نرم افزارهای کامپیوتری موجود است پیدا کردن روابط بین فرایندهای رشد با استفاده از این قبیل برنامه‌ها می‌توان نتایج موجود را برای شرایط دیگر تعمیم داد و وضع جدید را پیشگویی کرد واستفاده از این مدل‌ها بسیار سریع بوده و با در نظر گرفتن گیاه زراعی به عنوان یک سیستم پویا امکان پیشگویی تغییرات این سیستم نسبت به زمان را فراهم می‌سازد.

با توجه به اهمیت مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی در بهبود عملکرد گیاهان زراعی این تحقیق نیز با موضوع "استفاده از مدل AquaCrop به منظور تعیین عملکرد پتانسیل گندم در منطقه مورد مطالعه و شناسایی الگوهای مکانی و زمانی آب در رابطه با شکاف عملکرد" در پی رسیدن به اهداف زیر انجام گرفت:

واسنجی[1] اعتباریابی[2] و بررسی کارآیی مدل با استفاده از داده‌های آزمایش مزرعه‌ای گیاه گندم هامون

مواد و روش‌ها

۱-ساختار مدل

در این تحقیق از مدل AquaCrop نسخه ۳ استفاده شد. مدل AquaCrop از معادله ۱ دورنباس و کاسام (Doorenbos & Kassam, 1979) که در آن ET نسبی اساس محاسبه عملکرد می‌باشد، استنتاج شده است.

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = k_y\left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \qquad (۱)$$

که در آن Yx: حداکثر عملکرد گیاه زراعی، Ya: عملکرد واقعی گیاه زراعی، ETx: حداکثر تبخیر و تعرق، ETa

1- Validate

2- Calibration

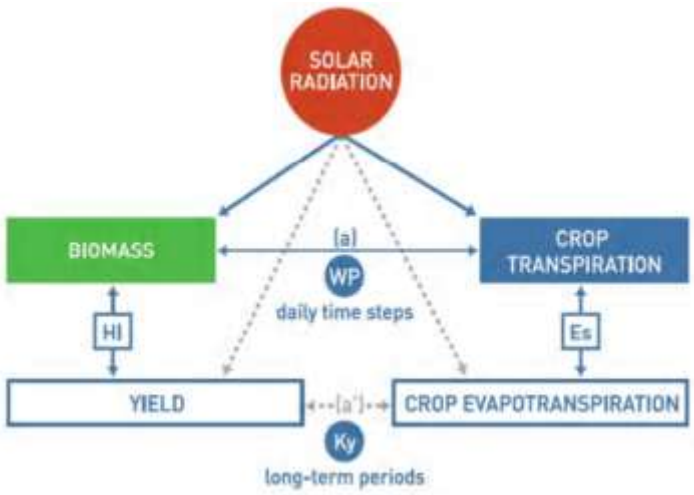
تبخیر و تعرق و اقعی و Ky: فاکتور تناسب بین افت عملکرد نسبی و کاهش نسبی در میزان تبخیر و تعرق است.

تعرق روزانه (Tr_i) با استفاده از ET_0 روزانه و بهره‌وری (WP) گونه گیاهی که با استفاده از نیاز تبخیری و غلظت CO_2 اتمسفری نرمال شده به وزن قسمت هوایی گیاه تبدیل می‌شود. معادله ۲ بیان ریاضی این رابطه می‌باشد:

$$Bi = WP \ (Tr_i / ET_{0,i}) \qquad (۲)$$

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 (Tanner & Sinclair, 1983). با نرمال کردن مناسب WP برای شرایط اقلیمی متفاوت مقدار آن به یک پارامتر ثابت تبدیل خواهد شد (Steduto *et al.*, 2007). بنابراین گام گذاشتن از معادله ۱ به معادله ۲ دلالت بر صحت و عمومیت مدل دارد.

شکل ۱-نمای شماتیکی از ارزیابی مدل AquaCrop را با استفاده از معادله ۱ نشان می‌دهد.



شکل ۱- ارزیابی مدل AquaCrop با استفاده از معادله ۱ بر مبنای معرفی دو مرحله واسطه‌ای: (i) رابطه á که عملکرد (Y) را به تبخیر و تعرق گیاه زراعی (در معادله ۱ بیان شد) از طریق پارامتر K_y متصل می‌کند که برای دوره‌های دراز مدت بکار برده می‌شود، (ii) رابطه a که بیوماس (Bi) را به T_a (در معادله ۲ بیان شد) از طریق WP متصل می‌کند که برای دوره‌های کوتاه مدت زمانی روزانه استفاده می‌شود.

بر مبنای معادله ۲ برای شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی با استفاده از مدل AquaCrop نیاز است تا سری کاملی از اجزای مدل را به عنوان ورودی به مدل اضافه نماییم. در واقع مشابه با سایر مدل‌ها، AquaCrop دارای ساختاری است که زنجیره‌ای از داده‌های خاک (بیلان آب در خاک)-گیاه (فرایندهای رشد و نمو، و عملکرد)- اقلیم (رژیم‌های دمایی، بارش، تبخیر و ...) را برای مدلسازی گیاه زراعی به هم پیوند می‌دهد. در مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز مدنظر قرار نمی‌گیرند. از آنجایی که مدل AquaCrop بر مبنای فرآیندهای بیوفیزیکی پیچیده بنا نهاده شده است (Steduto *et al.*, 2009)، برای اجرای مدل 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.

۲-داده‌های اقلیمی

مهمترین داده‌های اقلیمی مورد نیاز مدل عبارتند از داده-های 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[3] (GDD) به منظور تعدیل عملکرد زیست توده بر اثر خسارات ناشی از سرما، استفاده می‌کند (Raes *et al.*, 2009).

داده‌های دمای روزانه، مقدار بارندگی روزانه و همه اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه ET_0 از اطلاعات آماری سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۲ ایستگاه هواشناسی استان سیستان و بلوچستان استخراج گردید.

ET_0 با استفاده از روش فائو-پنمن-مونتیت (Allen *et al.*, 1998) محاسبه گردید. میانگین سالیانه غلظت CO_2 به صورت آماده در مدل (اندازه گیری شده در رصدخانه Mauna Loa در هاوایی تا سال ۲۰۰۹) وجود دارد.

داده‌های مورد نیاز خاک عبارت از رطوبت حجمی و وزنی لایه‌های مختلف خاک (۲۰-۰، ۲۰-۴۰ و ۶۰۰-۴۰ سانتی‌متر) می‌باشند. بافت خاک مزرعه رسی، عمق خاک زراعی بین ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک ۱۰۰ میلی‌متر بر ساعت اندازه گیری شد.

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. مقدار WP با استفاده از داده‌های نیاز تبخیری، مراحل فنولوژیکی و میانگین غلظت CO_2 لحاظ شد. حداکثر پوشش تاجی (CC_X) با استفاده از داده‌های تراکم کشت (۳۵۰ هزار بوته در هکتار) تعدیل شد.

تنش مستقل از نوع محصول و شدت و زمان تنش، شاخص برداشت را کاهش یا افزایش می‌دهد (Hsiao *et al.*, 2009؛ Steduto *et al.*, 2009). جلوگیری از رشد برگ اثر مثبت بر HI و بسته شدن روزنه 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.

۳- داده‌ها 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 طبقه بندی می-شوند.

تاریخ جوانه زنی عامل مهمی است که باید توسط کاربر به درستی وارد شود. تاریخ جونه 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 شد (Heng *et al.*, 2009).

۴- مدیریت مزرعه‌ای

در این تحقیق برای ارزیابی مدل AquaCrop در شرایط اقلیمی شهرستان زابل، آزمایش مزرعه‌ای به صورت بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۴۰۰-۱۳۹۹ به منظور محاسبه مقدار پارامترهای فنولوژیکی، عملکرد و اجزای عملکرد رقم هامون انجام گرفت. بر

3 . Growth degree day

پایه آزمون نیاز غذایی برای منطقه مورد مطالعه کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم به ترتیب به صورت اوره، سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم در کرت‌های آزمایش به طور یکنواخت مصرف شد. تمامی کودها و نصف کود نیتروژن به هنگام کاشت به روش خاکی و نصف دیگر کود نیتروژن به هنگام شروع تشکیل ساقه در اوایل بهار به صورت سرک مصرف شد. تراکم ٤٠٠ دانه در هر متر مربع و سطح هرکرت ۱۰ متر مربع (هر کرت از ۸ ردیف ۲۵ سانتی متری تشکیل شده است) و سطح برداشت ۳ متر مربع از هر کرت در نظر گرفته شد. آبیاری مزرعه با توجه به تیمارهای آزمایشی اعمال گردید.

داده‌های مورد نیاز برای واسنجی و اعتبار سنجی مدل عبارتند از تاریخ آغاز هر فاز رشدی گیاه (کاشت، جوانه‌زنی، طویل شدن ساقه، تشکیل خوشه، گلدهی، شیری شدن دانه و رسیدگی دانه)، بیوماس اندام هوایی (برگ + ساقه + خوشه) در مرحله رسیدگی دانه، و همچنین عملکرد دانه، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و تعداد دانه در متر مربع که در هر پلات اندازه گیری و ثبت شد.

صفات مورد بررسی

۱- شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب

بهره‌وری آب را می‌توان به صورت مقدار ماده خشک تولید شده به ازای هر واحد آب مصرفی تعریف کرد (Molden *et al.*, 2001). بر این اساس در این تحقیق بهره‌وری مصرف آب با استفاده از معادله ۳ شبیه‌سازی شد:

$$\mathrm{WP_{I+ER}} = \frac{Y}{I + \mathrm{ER}} (\mathrm{kg/m^3}) \quad (۳)$$

بر مبنای معادله ۳ بهره‌وری آب (WP_{I+ER}) به صورت مقدار عملکرد تولید شده (Y) به ازای هر واحد آب مصرفی گیاه از طریق آبیاری (I) و بارندگی مؤثر (ER) تعریف می‌شود. WP_{I+ER} به روش آبیاری و قدرت تحمل به تنش کم آبی گیاه بستگی دارد.

۲- شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل گندم

عملکرد پتانسیل تحت شرایط مطلوب آبیاری، کود دهی و کنترل مناسب آفات و علف‌های هرز (به منظور اجتناب از هر گونه تنش رطوبتی، عناصر غذایی و تنش زیستی) شبیه‌سازی شد. به منظور تخمین عملکرد پتانسیل گندم بهترین زمان تاریخ کشت در نظر گرفته شد و عملیات زراعی نیز برای کشت گندم در منطقه یکسان در نظر گرفته شد. خصوصیات خاک منطقه نیز با استفاده از داده‌های پیمایشی و آزمایشی بدست آمد. همچنین از داده‌های آب و هوایی منطقه شامل درجه حرارت، تشعشع، رطوبت نسبی و بارندگی روزانه؛ مقادیر اپتیمم آبیاری و کود نیتروژن برای تعیین عملکرد پتانسیل گندم استفاده شد. در نهایت شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل برای سال ٤٠٠-۱۳۹۹ با استفاده از مدل AquaCrop انجام گرفت.

۳- محاسبه عملکرد قابل حصول گندم

در این حالت عملکرد گندم تحت شرایط مطلوب آبیاری، کود دهی و کنترل مناسب آفات و علف‌های هرز (به منظور اجتناب از هر گونه تنش رطوبتی، عناصر غذایی و تنش زیستی) در مزرعه آزمایشی اندازه‌گیری شد.

٤- محاسبه عملکرد واقعی

عملکرد واقعی مزارع گندم برای سال ٤٠٠-۱۳۹۹ از سازمان کشاورزی، ایستگاه تحقیقات کشاورزی و نتایج

مشاهدات بدست آمده از مزارع کشاورزان منطقه حاصل شد.

۵- تعیین شکاف عملکرد

برای تعیین شکاف عملکرد در منطقه مورد مطالعه، از اطلاعات پرسشنامه‌های جمع آوری شده در ۱۲ مزرعه گندم در سطح شهرستان استفاده شد. پس از اطمینان از دقت مدل در ارزیابی عملکرد دانه، مدل برای منطقه اجرا شد.

٦-واسنجی مدل

مرحله اصلی واسنجی مدل AquaCrop تعیین ضریب بهره‌وری آب (WP) گیاه زراعی می‌باشد، که از رگرسیون

خطی رابطه بین بیوماس اندام هوایی و مجموع تعرق گیاه زراعی نرمال شده برای تبخیر و تعرق مرجع استنتاج می‌شود. مدل به طور مستقیم و با استفاده از داده‌های اقلیمی، خاک، آبیاری و پوشش کانوپی، تعرق گیاه زراعی را شبیه‌سازی می نماید

ضریب بهره‌وری آب (WP) گیاه زراعی به طور جداگانه‌ای برای مراحل رشد رویشی (قبل از گلدهی) و زایشی

(پس از گلدهی) اندازه گیری شد، واین مدل به خوبی قادر است بین این دو فاز تمایز ایجاد کند (Steduto & Albrizio, 2005).

۷-ارزیابی مدل

ارزیابی قدرت مدل‌های مختلف در پیش بینی با استفاده از دو شاخص جذر مجموع مربعات خطا (RMSE) و نیز ضریب رگرسیونی خطا مقادیر واقعی در برابر مقادیر پیش بینی شده انجام شد. شاخص RMSE را می‌توان از معادله ٤ محاسبه کرد (Rinaldy *et al.*, 2003):

$$RMSE_n = 100\ (\sum_{i=1}^{n} (P_i - O_i)^2 / n)^{0.5} / O_{mean} \quad (٤)$$

در این معادله P_i و O_i به ترتیب مقادیر پیش بینی شده و واقعی، n تعداد اندازه گیری واقعی اجزای گیاهی و O_{mean} میانگین مقادیر واقعی می‌باشد. RMSE به صورت درصد اختلاف نسبی مقادیر پیش بینی شده در برابر مقادیر واقعی بیان می‌شود و بر اساس تعریف، قدرت پیش بینی مدل در صورتی که مقدار RMSE کمتر از ۱۰٪ باشد، عالی، اگر بین ۱۰ تا ۲۰٪ باشد، خوب، اگر بین ۲۰ تا ۳۰٪ باشد، متوسط و اگر بالاتر از ۳۰٪ باشد، ضعیف برآورد می‌گردد (Rinaldy *et al.*, 2003).

برای برازش معادلات و انجام محاسبات آماری، از نرم افزار Excel استفاده شد.

نتایج و بحث

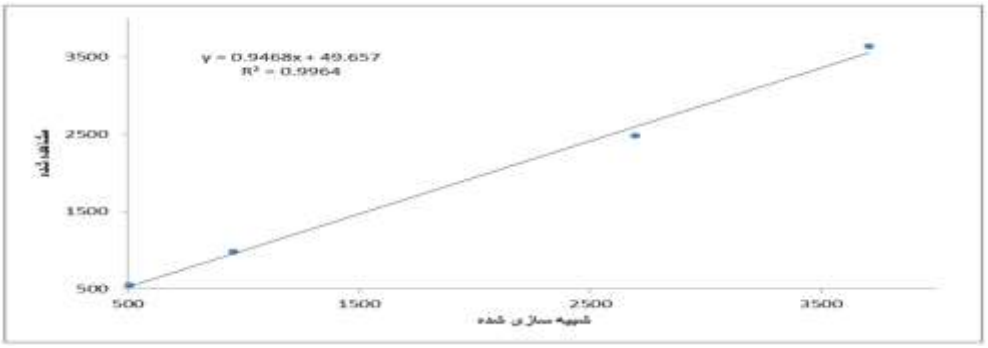
شبیه‌سازی عملکرد دانه

مقادیر عملکرد اندازه گیری و شبیه‌سازی شده توسط مدل برای تیمارهای مختلف آبیاری در جدول (۱) نشان داده شده است. نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که مدل قادر است مقدار عملکرد گندم در تیمارهای آبیاری مطلوب و تنش ملایم را با دقت بالاتری نسبت به تیمار تنش شدید شبیه‌سازی کند (جدول ۱). نتایج ارزیابی آماری مدل نشان می‌دهد که ضریب تبیین (R^2) هبستگی بالایی (R^2>0.99) بین مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر واقعی نشان می‌دهد (شکل ۲).

(Alizadeh *et al.*, 2010) نشان دادند که کارآیی مدل AquaCrop در پیش بینی عملکرد گندم در تیمارهای آبیاری مطلوب بسیار بالاتر از تیمارهای کم آبی می‌باشد.

جدول ۱- عملکرد دانه شبیه‌سازی شده و مشاهده شده گندم

تیمار	مشاهده شده (kg/ha)	شبیه‌سازی شده (kg/ha)
آبیاری مطلوب (ظرفیت زراعی)	۳٦٤۰	۳۷۰۸
۸۰ در صد ظرفیت زراعی	۲٤۸۰	۲٦۹٥
٦۰ در صد ظرفیت زراعی	۹۷۷	۹٥٦
٥۰ در صد ظرفیت زراعی	٥٤۷	٥۰٥
RMSEn (%)	٥/۹۰	



شکل ۲- مقایسه مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه گندم (Kg/ha)

شبیه‌سازی کارآیی مصرف آب

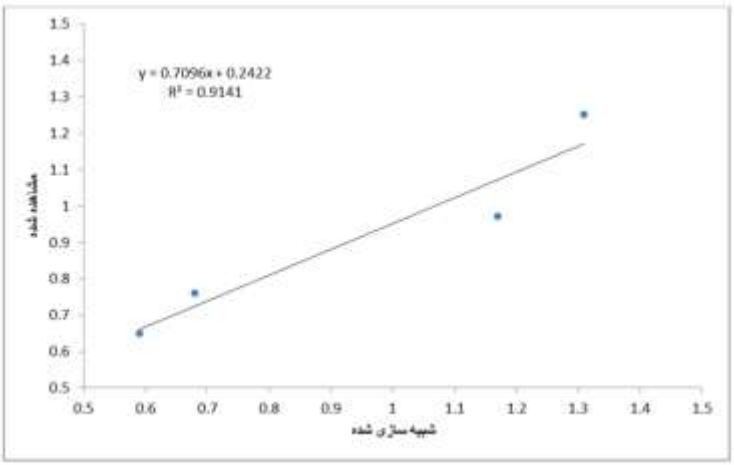
کارآیی مصرف آب برای سطوح مختلف آب مصرفی در جدول (۲) ارائه شده است. مطابق با نتایج آزمایش بالاترین کارایی مصرف آب از تیمار ۸۰ درصد آبیاری مطلوب حاصل شد. بالا بودن راندمان مصرف آب در این تیمار نسبت به تیمار آبیاری مطلوب می‌تواند به دلیل مصرف پایین آب آبیاری در این تیمار در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب باشد. همچنین پایین بودن کارایی مصرف آب در تیمارهای ٦۰ و ٥۰ درصد آبیاری مطلوب می‌تواند از طرفی بدلیل عملکرد بسیار پایین دانه در این تیمارها در مقایسه با تیمار آبیاری مطلوب و ۸۰ درصد آبیاری مطلوب باشد و از طرف دیگر می‌تواند مرتبط با عدم بارندگی در منطقه در طول فصل رشد باشد.

نتایج مدل هم روندی مشابه با نتایج اندازه گیری شده را پیش بینی می‌کند. همانطور که در جدول (۲) و شکل (۲) مشاهده می‌شود می‌توان چنین نتیجه گرفت که مدل در تنش‌های شدید مقدار کارآیی مصرف آب را کمتر از داده‌های اندازه گیری شده و در شرایط آبیاری مطلوب و تنش‌های ملایم کارآیی مصرف آب را اندکی بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهد. هسیائو و همکاران (Hsiao et al., 2009) در آزمایشی که تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی بر روی کارآیی مصرف آب ذرت با استفاده از مدل AquaCrop انجام دادند، بیان کردند که این مدل نتوانست شبیه‌سازی رضایت بخشی را از کارآیی مصرف آب (WUE) خصوصاً در دوره‌های شدید تنش خشکی انجام دهد. (Alizadeh *et al.*, 2009) گزارش کردند که مدل AquaCrop از دقت کافی در شبیه‌سازی

کارآیی مصرف آب گندم خصوصاً در تنش‌های شدید برخوردار نیست.

جدول ۲- کارآیی مصرف آب شبیه‌سازی شده و مشاهده شده گندم هامون

تیمار	مشاهده شده (kg/m^3)	شبیه‌سازی شده (kg/m^3)
آبیاری مطلوب (ظرفیت زراعی)	۰/۹۷	۱/۱۷
۸۰ در صد ظرفیت زراعی	۱/۲۵	۱/۳۱
۶۰ در صد ظرفیت زراعی	۰/۷۶	۰/۶۸
۵۰ در صد ظرفیت زراعی	۰/۶۵	۰/۵۹
$RMSE_n$ (%)	۱۶/۲۸	



شکل۳- مقایسه مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده کارآیی مصرف آب (Kg/m^3)

شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل گندم

در جدول ۳ و شکل٤ مقادیر عملکرد پتانسیل گندم آبی در منطقه زابل بر اساس داده‌های آب و هوایی منطقه شامل درجه حرارت، تشعشع، رطوبت نسبی و بارندگی روزانه؛ مقادیر اپتیمم آبیاری و کود نیتروژن؛ داده های خاکشناسی و بهترین شرایط مدیریتی (عدم وجود عوامل کاهنده عملکرد نظیر آفات و علف‌های هرز) با استفاده از مدل AquaCrop محاسبه شد. بر اساس این نتایج عملکرد پتانسیل ۵۸۳۰ کیلوگرم در هکتار می‌باشد.

فراهانی و همکاران (Farahani *et al*., 2009) آزمایشی را به منظور ارز یابی مدل AquaCrop در شرایط مختلف بر روی پنبه انجام دادند. نتایج آنها نشان داد مدل قادر است با قدرت بالا عملکرد پتانسیل پنبه را شناسایی کند. آگاروال (Aggarval, 1994) نیز پتانسیل عملکرد گندم در مناطق مختلف هندو ستان را بو سیله یک مدل شبیه سازی در محدوده ۷ تن در هکتار پیش بینی کرد. وی گزارش کرد درجه حرارت و تشعشع عوا مل اصلی کنترل کننده عملکرد پتانسیل در محیط های مختلف می باشند. غفاری و همکاران (Ghaffari *et al*., 2001) با استفاده از مدل CERES-Wheat، پتانسیل عملکرد شش منطقه را پیش بینی نموده و نشان دادند که عملکرد گندم بسته به منطقه

در دامنه‌ای بین ۸۹۹۵ تا ۹۸۹٤ کیلوگرم در هکتار طی سال‌های مختلف متغیر بود.

محاسبه عملکرد قابل حصول گندم

به منظور محاسبه عملکرد قابل حصول گندم، عملکرد گندم تحت شرایط مطلوب آبیاری، کود دهی و کنترل مناسب آفات و علف‌های هرز در مزرعه آزمایشی محاسبه شد. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود بالاترین عملکرد قابل حصول در مزرعه از تیمار آبیاری مطلوب بدست آمد و تفاوت معنی داری بین این تیمار با سایر تیمارهای موجود در آزمایش مشاهده شد.

جدول ۳- عملکرد دانه گندم هامون تحت رژیم‌های مختلف آبیاری

تیمار	عملکرد دانه (kg/ha)
آبیاری مطلوب (ظرفیت زراعی)	**٣٦٤٠ a**
تنش ملایم (۸۰ درصد ظرفیت زراعی)	٢٤٨٠ b
تنش شدید (٦٠ درصد ظرفیت زراعی)	٩٧٧ c
تنش بسیار شدید (٥٠ درصد ظرفیت زراعی)	٥٤٧ d

حروف مشابه در هر ستون نشان دهنده عدم وجود تفاوت معنی دار بین آنها است

محاسبه عملکرد واقعی

عملکرد واقعی گندم (رقم هامون) در شهرستان زابل از مرکز تحقیقات کشاورزی و سازمان جهاد کشاورزی این شهرستان برای سال ٤٠٠-١٣٩٩ کسب گردید. به طور کلی میانگین عملکرد واقعی گندم ۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد.

ارزیابی شکاف عملکرد

قبل از بررسی و ارزیابی شکاف عملکرد ابتدا باید فاکتورهای تعیین کننده شکاف عملکرد را شناخت. در گیاهان زراعی عوامل متعددی وجود دارند که تعیین کننده عملکرد می باشند، این عوامل طبق تعریف پنینگ دی وریس و رابینگ (Penning de Vries & Rabbinge, 1995) در سه گروه قرار می‌گیرند.

۱- فاکتورهای تعیین کننده یا تعریف کننده پتانسیل عملکرد که عبارتند از طول روز، تشعشع دریافتی، دما، غلظت CO_2 و رقم یا ژنوتیپ گیاه زراعی.

۲- فاکتورهای محدود کننده عملکرد که عبارتند از آب و مواد غذایی مورد نیاز گیاه، که این فاکتورها توسط کشاورز و نحوه مدیریت و عملیات زراعی قابل کنترل و مدیریت می باشدو فاکتورهای محدود کننده عملکرد تعیین کننده شکاف عملکرد بین عملکرد پتانسیل و عملکرد پیش‌بینی شده (قابل حصول) می‌باشد.

۳- فاکتورهای کاهش دهنده عملکرد که عبارتند از بیماری‌ها، آفات و علف‌های هرز که منجر به کاهش عملکرد پیش‌بینی شده می‌شوند.

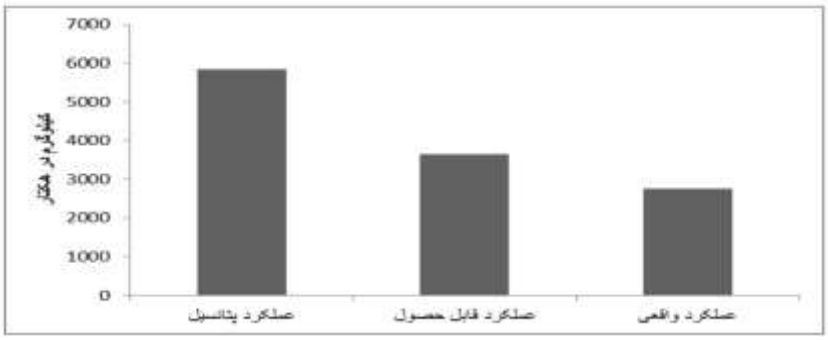
پس از تعیین عوامل مؤثر در ایجاد شکاف عملکرد، گام بعدی محاسبه عملکرد پتانسیل، قابل حصول و واقعی گندم می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده در این تحقیق میانگین عملکرد پتانسیل، قابل حصول و

واقعی گندم برای منطقه زابل در سال ۹۹-۴۰۰ در جدول (٤) ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان داد که عملکرد پتانسیل (عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل تحت شرایط اپتیمم)، قابل حصول (عملکرد بدست آمده در آزمایش مزرعه‌ای و تحت شرایط مطلوب مدیریتی) و واقعی (میانگین عملکرد بدست آمده توسط کشاورزان منطقه) به ترتیب ۵۸۳۰، ۳٦٤۰ و ۲۷۵۰ کیلوگرم در هکتار بدست آمد (جدول ٤ و شکل ٤)

.

جدول ٤- میانگین عملکرد پتانسیل، قابل حصول و واقعی گندم برای منطقه سیستان

عملکرد پتانسیل (kg/ha)	عملکرد قابل حصول (kg/ha)	عملکرد واقعی (kg/ha)
۵۸۳۰	۳٦٤۰	۲۷۵۰



شکل ٤ - عملکرد پتانسیل، قابل حصول و واقعی گندم برای منطقه

با توجه به شکل (٤) عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی به ترتیب به میزان ۳۷/۵ و ۵۲/۸ درصد سبب ایجاد شکاف عملکرد نسبت به عملکرد پتانسیل شده‌اند.

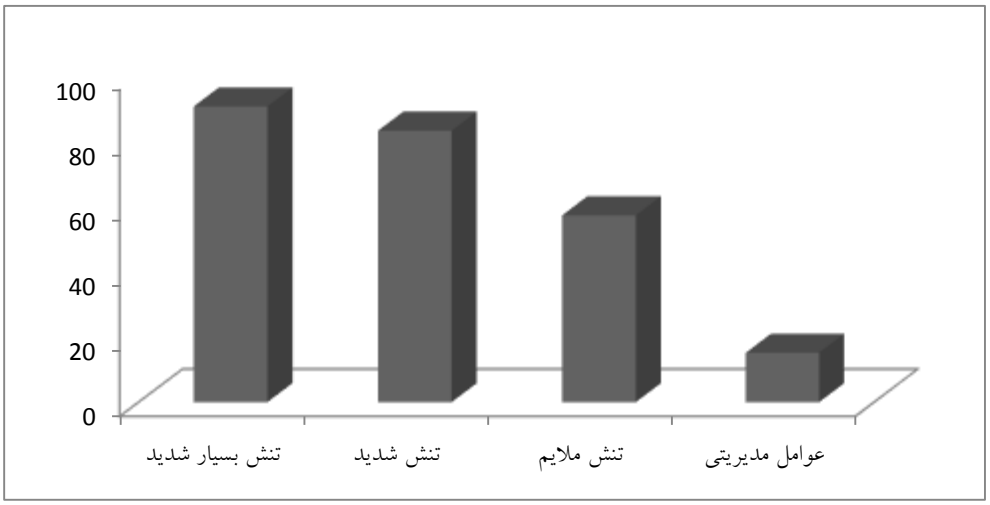
عوامل مؤثر در کاهش عملکرد پتانسیل گندم

در این آزمایش مهمترین فاکتورهای محدود کننده و کاهنده عملکرد پتانسیل، آب و عوامل مدیریتی (شامل کوددهی، کنترل آفات و علف‌های هرز) در نظر گرفته شدند. برای تعیین نسبت این دو عوامل که سبب کاهش عملکرد پتانسیل شده است از داده‌های آزمایش مزرعه‌ای استفاده شد (جدول ۵).

جدول ۵- تعیین شکاف عملکرد گندم در منطقه زابل در فصل رشد ۱۳۹۹-۱۴۰۰

عوامل مؤثر در ایجاد کاهش عملکرد پتانسیل	عملکرد (kg/ha)	عملکرد پتانسیل (kg/ha)	مقدار کاهش عملکرد نسبت به عملکرد پتانسیل (بر حسب درصد)
تنش ملایم (۸۰ درصد آبیاری مطلوب)	۲۴۸۰	۵۸۳۰	۵۷/۴
تنش شدید (۶۰ درصد آبیاری مطلوب)	۹۷۷		۸۳/۲۴
تنش بسیار شدید (۵۰ درصد آبیاری مطلوب)	۵۴۷		۹۰/۶۱
عوامل مدیریتی = عملکرد قابل حصول - عملکرد واقعی	-		۱۵/۲

نکته: در کلیه عواملی که در کاهش عملکرد پتانسیل مؤثر هستند، همه شرایط‌ها (آبیاری، کوددهی و مدیریت) در حالت اپتیمم قرار داشته و تنها، عامل محدود کننده ذکر شده است.



شکل ۵- مقایسه عوامل ایجادکننده شکاف عملکرد گندم (رقم هامون) در منطقه

همانطور که در جدول (۵) و شکل (۵) مشاهده می‌شود، در بین عوامل محدود کننده و کاهنده مورد بررسی مشخص شد که آبیاری مهمترین عامل محدود کننده عملکرد گندم در منطقه محسوب می‌شود. به طوریکه تنش ملایم (۸۰ درصد آبیاری مطلوب)، تنش شدید (۶۰ درصد آبیاری مطلوب) و تنش بسیار شدید (۵۰ درصد آبیاری مطلوب) به ترتیب منجر به ۵۷/۴، ۸۳/۲۴ و ۹۰/۶۱ درصد کاهش عملکرد گندم نسبت به عملکرد پتانسیل شده است. دومین عامل کاهنده عملکرد در منطقه عوامل مدیریتی شناخته شدند. از تفاضل عملکرد قابل حصول از عملکرد واقعی، مقدار کاهش عملکرد توسط عوامل مدیریتی تعیین شد. بنابراین مشاهده گردید که عوامل مدیریتی منجر به ۱۵/۲ درصد کاهش عملکرد گندم نسبت به عملکرد پتانسیل شده است.

هولدن و بررتون (Holden & Brereton, 2004) با بررسی عوامل اقلیمی بر عملکرد گیاهان زراعی در کشور ایرلند، طول فصل رشد و آب قابل دسترس را عوامل اصلی محدود کننده گیاهان گندم (*Triticum aestivum* L.)، جو (*Hordeum vulgare* L.)، سویا (*Glycine max* L.) و گوجه فرنگی (*Lycopersicum esculentum* L.) اعلام نمودند.

نتیجه‌گیری

نتایج تحقیق نشان داد که مدل AquaCrop بیوماس اندام هوایی و عملکرد دانه را با دقت نسبتاً بالایی در تیمارهای آبیاری مطلوب و تنش‌های ملایم شبیه‌سازی می‌نماید. اما این مدل نتوانست شبیه‌سازی رضایت بخشی را از کارآیی مصرف آب خصوصاً در دوره‌های شدید تنش خشکی انجام دهد. این نتایج بیانگر آن است، زمانی که رطوبت از حد قابل تحمل برای گیاه عبور کند مدل قادر به شبیه‌سازی واکنش گیاه به طور مناسبی نخواهد بود.

به منظور تعیین و نسبت هر یک از عوامل مؤثر در ایجاد شکاف عملکرد گندم در منطقه تحت بررسی از آزمایشات مزرعه‌ای نشان دادکه در بین عوامل محدود کننده و کاهنده مورد بررسی آب مهمترین عامل محدود کننده عملکرد گندم در منطقه محسوب می‌شود. به طوریکه تنش‌های ملایم (۸۰ درصد آبیاری مطلوب)، تنش شدید (٦۰ درصد آبیاری مطلوب) و بدون آبیاری (دیم) به ترتیب منجر به ۵۷/٤، ۸۳/۲٤ و ۹۰/٦۱ درصد کاهش عملکرد گندم نسبت به عملکرد پتانسیل شده است. عوامل مدیریتی (شامل: کود دهی، تاریخ کاشت، مبارزه با آفات و علف‌های هرز) دومین عامل محدود کننده عملکرد در منطقه شناسایی شد. به‌طوریکه عوامل مدیریتی منجر به ۱۵/۲ درصد کاهش عملکرد گندم نسبت به عملکرد پتانسیل شده است. در نهایت با شناسایی عوامل مؤثر در شکاف عملکرد، می‌توان با بهینه‌سازی آن‌ها گامی مؤثر در ایجاد افزایش عملکرد این محصول در منطقه داشته باشیم.

REFRENCES

Imam, Y. 2012. Cereal cultivation. Shiraz University Press.

Alizadeh, H. A., B. Nazari., M. Parsi Nejad., H. Ramazani Mederani and H. R. Veteran. 2010. Evaluation of AquaCrop model in management of low irrigation of wheat in Karaj region. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(4): 273-283.

Aggarval, P. K. 1994. Constraints in wheat productivity in India. In: Simulating the Effect of Climatic Factors, Genotype and Management on Productivity of Wheat in India. (eds. Aggarval, P.K., Kalra, N.) pp. 1-11. *Agricultural Research Institute, New Delhi, India*.

Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation. And Drainage paper no. 56. *FAO, Rome*.

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

Farahani, H. J., G. Izzi, P. Steduto, and T. Y. Oweis. 2009. Parameterization and evaluation of AquaCrop for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy. J*. 101:469–476.

Ghaffari. A., Cook, H. F. and Lee, H. C. 2001. Simulating winter wheat yields under temperate conditions: exploring different management scenarios. *Eur. J. Agronomy*. 15:231-240.

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. *Agronomy. J*. 101:488–498.

Hsiao, T. C., L. K. Heng, P. Steduto, D. Raes, and E. Fereres. 2009. AquaCrop-Model parameterization and testing for maize. *Agronomy. J*. 101:448–459.

Holden, N. M., and A. J. Brereton. 2004. Definition of agro climatic regions in Ireland using hydro-thermal and crop yield data. *Agricultural and Food Methodology* 122: 175-191.

Molden, D., H. Murray-Rust., R. Sakthivadivel. and I. Makin. 2001. A water productivity framework for understanding and action. *Workshop on water productivity. Wadduwa, Sri Lanka*.

Penning de Vries, F.W.T, D.M. Jansen, H.F.M. ten Berge and A. Bakema, 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Simulation Monographs 29. *Pudoc, Wageningen*.

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. *Agronomy. J*. 101:438–447.

Richards, R. A., G. J. Rebetzke, A. F. Van Herwaarden, B. L. Duggan and A. G. Slafer, G. A. 1994. Genetic improvement of field Crops. *Marcel Dekker Inc*. 470 pp.

Rinaldy, M., N. Losavio. and Z. Flagella. 2003. Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. *Agricultural Systems*. 78: 17-30. pp. 181-196. PUDOC, Wageningen, The Nethelands.

Steduto, P. and R. Albrizio. 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea. II. Water Use Efficiency and comparison with Radiation Use Efficiency. *Agric. For. Meteorol*., 130:269-281.

Steduto, P., T.C. Hsiao, and E. Fereres. 2007. On the conservative behavior of biomass water productivity. *Irrigation. 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.

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.

Todorovic, M., R. Albrizio., L. Zivotic., M. T. Abi Saab., C. Stöckle. and P. Steduto. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST Models in the Simulation of Sunflower Growth under Different Water Regimes. *Agronomy Journal*. 101: 509-521.

Sustainable Agricultural Science Research /Vol. 3/No. 1/Spring 2023/P: 33-47

https://www.sarj.iauk.ac.ir

Estimation of Wheat Potential Yield in Sistan Region Under Dry Stress: With Use of Experiment Field and AquaCrop Model

Ahmad Mehraban[1*] and Seyed Mahdi Javadzadeh[2]

[1]Associate Professor, Department of Agricultural Engineering, Zahedan Branch, Islamic Azad University, Zahedan, Iran

[2]Assistant Professor, Department of Agriculture and Plant Breeding, Iranshahr Branch, Islamic Azad University, Iranshahr, Iran

Corresponding Author's Email: ahmadmh2004@yahoo.com

(Received: April. 24, 2023 – Accepted: June. 20, 2023)

ABSTRACT

Crops growth simulation models are important tools for evaluating effects yield of crops. One of these models is the Aqua Crop model. This model can simulate productivity, yield, water requirement and water use efficiency under condition of water limitation. This research was carried out in order to simulation of some parameters of crops growth under condition of different water regimes on wheat (Hamoon varyity) in Sistan region at 2020-21 In this research climate, soil characteristics, plant characteristics and crop cultivation management are from major inputs for model. Place situation, climatic data, soil data, management data are necessary data and information for running model of AquaCrop. After gathering data, simulation of potential yield, attainable yield and yield gap determination of wheat was done with AquaCrop model. Region wheat farms actual yield obtained from Zabol Agriculture Researches Center. The results of simulation by AquaCrop model showed that model simulates biomass and seed yield well. But this model couldn't simulate water use efficiency (WUE) as optimum. In this research wheat potential yield was simulated by AquaCrop model, and with estimation of attainable yield and actual yield obtained from research, wheat yield gap in region was determined. The results of research showed that potential yield (yield simulated by model in optimum condition), available yield (yield obtained in field experiments in optimum condition of management) and actual yield (yield average obtained by region farmers) was equal to 5830, 3640 and 2750 kg/ha respectively. Between limited and decreased factors under study was determined that irrigation is the most important limited factor of wheat yield in region Management factors were introduced as the second limited factor of yield. So that led to decrease of 15.2% wheat yield relation to potential yield. At the last can to recognize effective factors in yield gap, and optimizing them, can fill this wheat yield gap in region

Keywords: AquaCrop model, Wheat, Yield