Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 15, Apr.-May. 2021, p. 234-244

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۵، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۰، ص. ۲۴۴-۲۳۴

مقاله علمی-پژوهشی

تعیین بهره‌وری مصرف آب در ذرت دانه‌ای (KSC 706) با استفاده از مدل AquaCrop در استان کرمانشاه

میثم پالاش[۱]، علی بافکار[۲*]، بهمن فرهادی بانسوله[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۳

چکیده

در میان شاخص‌های بهینه‌سازی مصرف آب در بخش کشاورزی، شاخص بهره‌وری مصرف آب مورد توجه بیشتری قرارگرفته است. این شاخص با توجه به عملکرد و نیاز آبی محصولات برآورد گردیده که بستگی به پارامترهای هواشناسی، خصوصیات خاک، مدیریت مزرعه و نوع گیاه دارد. با توجه به تغییرات پارامترهای هواشناسی در مناطق مختلف می‌توان انتظار داشت که عملکرد و نیاز آبی محصولات در مناطق مختلف نیز تغییر کند. در این مطالعه ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۶ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی کرمانشاه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با تیمارهای ۶۰،۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبیاری و سه تکرار کشت گردید. با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای به‌دست‌آمده مدل شبیه‌سازی رشد گیاهی AquaCrop واسنجی و صحت‌سنجی گردید. نتایج حاصل از خروجی مدل و داده‌های مزرعه‌ای نشان داد که تفاوت بین عملکرد زیست‌توده و عملکرد دانه در تیمارهای آبیاری در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با توجه به فایل گیاهی واسنجی شده و داده‌های روزانه هواشناسی (۲۰۱۷-۱۹۸۸) نیاز آبی و عملکرد دانه در شرایط آبیاری کامل در پنج ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، سرپل‌ذهاب، روانسر و کنگاور با استفاده از مدل برآورد شد. میانگین عملکرد دانه برای ۳۰ سال موردبررسی در این ایستگاه‌ها به ترتیب ۹۴۰۳، ۹۲۶۱، ۹۱۷۱، ۹۰۱۶ و ۹۱۵۱ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. با توجه به مقادیر عملکرد و نیاز آبی برآورد شده مقدار بهره‌وری مصرف آب در شرایط آبیاری کامل محاسبه گردید که مقدار آن برای ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، سرپل‌ذهاب، روانسر و کنگاور به ترتیب ۰/۹۵، ۱/۰۹، ۱/۰۹، ۰/۸۸ و ۱/۱۸ کیلوگرم دانه بر مترمکعب آب برآورد گردید.

واژه‌های کلیدی: تغییرات مکانی، ذرت دانه‌ای، شبیه‌سازی، کم آبیاری، AquaCrop

مقدمه

در دهه‌های اخیر به دلیل افزایش روزافزون جمعیت، نیاز به تولیدات کشاورزی و دامی به‌صورت فزاینده‌ای افزایش‌یافته و موجب استفاده غلط و غیراصولی از منابع موجود گردیده که عدم توجه به قابلیت و توان تولید سبب تخریب منابع شده است. ایران کشوری است که متوسط بارندگی آن حدود یک‌سوم متوسط بارش جهانی است و از نظر منابع آب به‌شدت در تنگنا می‌باشد. لذا بهبود کار آیی مصرف آب مبتنی بر تولید بیشتر در بخش کشاورزی از اهمیت ویژه ای برخوردار است (Hoogenboom et al., 2004). کم‌آبیاری یکی از راهکارهای بهینه‌سازی مصرف آب و مقابله با تنش خشکی در اراضی فاریاب است. تجربیات مربوط به کم‌آبیاری در نقاط مختلف دنیا، کارآمدی این شیوه در استفاده بهینه از هر واحد آب مصرفی و افزایش سود خالص را نشان می‌دهند. به‌عنوان‌مثال در پاکستان به‌طور گسترده از کم‌آبیاری استفاده می‌شود، به‌نحوی‌که کل آب مصرفی، حدود ۲۵ درصد از آبیاری کامل کمتر است (Terimer, 1990) با اعمال مدیریت صحیح در سیستم آب، خاک و گیاه می‌توان ضمن افزایش محصول، یک کشاورزی پایدار ایجاد کرد (Xu et al., 2019; Fadul et al., 2020)

شبیه‌سازی مراحل رشد گیاه و درنتیجه پیش‌بینی عملکرد محصول، منجر به برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت کاراتر در روند تولید محصول خواهد گردید. در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی برای شبیه سازی رشد محصولات زراعی و مدیریت آب خاک ارائه‌شده است و محققین در تحقیقات مختلف از این مدل‌ها استفاده می‌کنند

۱ - فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
(*-نویسنده مسئول: (Email: alibafkar@yahoo.com
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.1.20.0

www.SID.ir

Archive of SID

(Hoogenboom et al., 2004). یکی از اهداف مدل‌های شبیه سازی گیاهی، استفاده از آن‌ها برای پیش‌بینی عملکرد محصول می باشد (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۳). مدل‌های مختلفی برای این منظور توسعه داده‌شده و توسط محققین بکار رفته‌اند. مدل‌هایی چون CERES، EPIC، WOFOST، CROPSYST و غیره که البته مستلزم مهارت زیاد کاربر در واسنجی است و متغیرهای ورودی آن‌ها زیاد و اندازه‌گیری آن‌ها سخت می‌باشد (مؤمنی و همکاران، ۱۳۸۷). در سال ۲۰۰۹، فائو مدل شبیه‌سازی AquaCrop را بر اساس معادله دورنباس و کاسام و به همراه تصحیحاتی بر آن ارائه داد که مقیاس محاسبات در آن بر اساس گام روزانه می‌باشد (Steduto et al., 2009). نتایج پژوهش امداد و تافته (۱۳۹۸) نیز نشان داد که مقدار خطای شبیه‌سازی مدل AquaCrop برای بهره‌وری مصرف آب (۱۳درصد) بیشتر از عملکرد گندم (۵ درصد) می‌باشد. جوزی و همکاران (۱۳۹۹) در تحقیقی در منطقه همدان به این نتیجه رسیدند که مدل دقت کمتری در برآورد بهره‌وری مصرف آب نسبت به برآورد عملکرد سیب‌زمینی داشت.

سیستم گیاه در مدل AquaCrop با پنج مؤلفه اصلی فنولوژی، کانوپی هوایی، عمق ریشه دهی، تولید زیست‌توده و محصول قابل‌برداشت تعریف می‌شود. چهارده گیاه اصلی با استفاده از مدل AquaCrop و اندازه‌گیری‌های پارامترهای گیاهی و خاک از مطالعات تجربی درکشورهای مختلف واسنجی شده (Raes et al., 2009) و این امکان در حال حاضر در نسخه ۶ نرم‌افزار به‌عنوان فایل گیاهی پیش‌فرض گنجانده شده است. مدل AquaCrop که تکامل و توسعه‌یافته‌ی مدل Budget است، دارای ساختار پیوسته خاک، گیاه و اتمسفر بوده و با چهار جزء اساسی سروکار دارد: خاک، گیاه (رشد، توسعه و عملکرد)، اتمسفر (رژیم حرارتی، بارش، نیاز تبخیری و غلظت دی‌اکسید کربن) و روابط بین بخشی شرایط محیطی، تنش‌ها و واکنش گیاه (Raes et al., 2009) جنبه‌های مفهومی و پایه‌ای مدل را استدیو و همکاران در سال ۲۰۰۹ تشریح کرده‌اند و الگوریتم و نحوه‌ی استفاده از نرم‌افزار را راس و همکاران در سال ۲۰۰۹ توضیح داده‌اند.

کارآیی مدل AquaCrop در منطقه‌ی کرج و تحت مدیریت‌های کم‌آبیاری بر روی گندم توسط علیزاده و همکاران (۱۳۸۹) موردمطالعه قرار گرفت. کشت در این تحقیق با شش تیمار آبیاری (تیمارهای ۱۰۰، ۸۰، ۶۰، ۴۰ و ۲۰ درصد نیاز آبی و تیمار تک آبیاری) و دو دور آبیاری هفت و چهارده روزه انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که مدل AquaCrop برای دور آبیاری هفت روزه، مقدار عملکرد دانه، تبخیر و تعرق گیاهی (ETc) و کارایی مصرف آب را به‌خوبی پیش‌بینی نموده اما مدل مذکور در پیش‌بینی این مقادیر با دور آبیاری چهارده روزه دقت کمتری داشت. در تحقیقی دیگر مدل AquaCrop توسط رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۹۳) مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق که برای ذرت علوفه‌ای در قزوین انجام شد، شاخص‌های آماری بررسی‌شده و ضریب تعیین، جذر میانگین مربعات خطا و میانگین انحراف خطا به ترتیب برابر با ۰/۹۳، ۱/۵ تن در هکتار و ۰/۵ تن در هکتار برآورد شد. نتایج این تحقیق نشان داد که خطای برآورد در این منطقه با دیگر مناطق تفاوت چندانی ندارد و در کل ۱۲ درصد است. خیرتس و همکاران در بخش‌های شمالی، مرکزی و جنوبی منطقه Altiplano بولیوی، مدل AquaCrop را برای گیاه بومی Quinoa تحت سناریوهای مختلف آبیاری، واسنجی و اعتباریابی کردند. نتایج نشان داد که مدل ابزار ارزشمندی برای بررسی و امتحان اثر تجمعی مکانیسم‌های تحمل به تنش آبی روی گیاه بومی Quinoa است. عملکرد محصول تحت سناریوهای مختلف آبیاری شبیه‌سازی‌شده و منحنی‌های احتمالاتی عملکرد در سطوح عملکرد قابل‌اعتماد ارائه شد. نتایج نشان داد که این منحنی‌های احتمالاتی در نظر گرفته‌شده دقیق‌تر و ارجح‌تر نسبت به مطالعات اقتصادی هستند (Geerts et al., 2009). در شمال اتیوپی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده و عملکرد دانه محصول جو تحت تأثیر مقادیر مختلف آب و تاریخ کشت‌های مختلف طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۰۶ مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده مقادیر شبیه‌سازی‌شده زیست‌توده و عملکرد دانه از دقت مناسبی برخوردار بود (Araya et al., 2010).

ذرت اصلی‌ترین زراعت برای تأمین مواد غذایی در آمریکای شمالی و مرکزی و جنوبی تا قبل از کشف قاره جدید بوده است. ذرت به‌عنوان سلطان غلات معروف است، زیرا تولید و ارزش آن در جهان بیشتر از گندم، جو، یولاف، چاودار و برنج هست (افضلی و همکاران، ۱۳۹۱). این محصول در ایران نیز دارای سطح زیر کشت وسیعی است و از محصولات استراتژیک به شمار می‌رود. در این تحقیق از گیاه ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۶ که تاکنون به منظور تعیین بهره‌وری آب و میزان عملکرد و آب مصرفی مورد بررسی و ارزیابی قرار نگرفته استفاده شد و تغییرات مکانی عملکرد، آب مصرفی و بهره‌وری آب این گیاه در استان کرمانشاه موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

تئوری مدل

با استفاده از مدل AquaCrop میزان تولید عملکرد در اندام‌های مختلف گیاه به‌عنوان معیاری برای بررسی مصرف آب در شرایط دیم، آبی و یا کم‌آبی شبیه‌سازی می‌شود (Steduto et al. 2009). ابزار محاسبه رشد در مدل چرخه آب است. میزان تولید زیست‌توده در ارتباط با آب یا به عبارتی تعرق، معیاری برای استفاده از CO_2 و بخارآب موجود در اتمسفر است. این معیار کمک می‌کند که مدل برای فصول و مکان‌های مختلف قابل کاربرد باشد. این مدل رشد

www.SID.ir

Archive of SID

گیاه را به‌صورت روزانه شبیه‌سازی می‌کند. این مدل به سه دسته داده برای اجرا نیاز دارد (Steduto et al. 2009) که عبارت‌اند از: داده‌های اتمسفری مانند بارندگی، تعداد روزهای آفتابی، دمای حداکثر و حداقل و تبخیر، داده‌های مربوط به گیاه، مانند فنولوژی، عمق ریشه و میزان ماده خشک و داده‌های خاک مانند میزان رطوبت اولیه و بافت خاک.

واسنجی و صحت‌سنجی مدل:

برای ارزیابی نتایج مدل در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی از آماره‌های شاخص سازگاری (d[1])، ضریب کارایی (EF[2]) و شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE[3]) (روابط ۳ تا ۵) استفاده شد. در تمام شاخص‌های زیر پارامترهای Oi، Pi، $\overline{O}$، $\overline{P}$ و N به ترتیب مقادیر مشاهده‌شده، مقادیر شبیه‌سازی‌شده، میانگین مقادیر مشاهده‌شده، میانگین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و تعداد مشاهدات است.

$$d = 1 - \left[\sum_{i=1}^{N}(P_i - O_i)^2 \Big/ \sum_{i=1}^{N}(|P'_i| + |O'_i|)^2\right] \quad (۳)$$

$$0 \le d \le 1$$

$$O' = (O_i - \overline{O})$$

$$P' = (P_i - \overline{P})$$

شاخص سازگاری (d) یک پارامتر توصیفی است که مقدار آن از صفر تا یک متغیر است و هر چه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد، مدل کاراتر است و مقادیر شبیه‌سازی‌شده قابل‌اطمینان‌تر هستند. در حالت مطلوب، این شاخص برابر یک است.

$$EF = \left(\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 - \sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2\right) \Big/ \sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 \quad (۴)$$

مقدار ضریب کارآیی (EF) نشان‌دهنده صحت ارزش داده‌ها هست و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا عدد ۱ در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. (Jamieson et al., 1991).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۵)$$

شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) تفاوت میان مقدار پیش‌بینی‌شده توسط مدل و مقدار واقعی هست. RMSE ابزار خوبی برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی‌شده توسط یک مجموعه داده است و برای مقایسه چند مجموعه داده کاربرد ندارد.

در بخش دوم، برای حصول اطمینان از نتایج به‌دست‌آمده در مرحله واسنجی، بایستی صحت مدل واسنجی شده با مجموعه دیگری از تیمارها که در واسنجی مورداستفاده قرار نگرفته است، مورد ارزیابی قرار گیرد. لازم به ذکر است که نرم‌افزار AquaCrop با اخذ داده‌های مزرعه‌ای، امکان تحلیل آماری معیارهای آماری فوق را دارد. در این مطالعه از داده‌های دو تیمار T120 و T80 برای واسنجی و دو تیمار T100 و T60 با توجه به جدول (۱) به‌منظور اعتبارسنجی استفاده شد.

آزمایش مزرعه‌ای

این آزمایش در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه تحقیقاتی و آزمایشگاه‌های گروه مهندسی آب پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی اجرا شد. مزرعه تحقیقاتی با مختصات طول جغرافیایی ۴۷ درجه ۶ دقیقه و ۱۲ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه ۱۹ دقیقه و ۳۳ ثانیه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح دریا واقع‌شده است (شکل ۱).

این آزمایش در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و با چهار تیمار (۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰) درصد نیاز آبی در طول دوره رشد و سه تکرار انجام گرفت. لازم به ذکر است که علت انتخاب تیمار ۲۰ درصد بیش‌آبیاری، عدم اطمینان کافی به روش تعیین نیاز آبیاری تیمار شاهد (استفاده از رابطه پنمن مانتیث فائو) در منطقه مورد مطالعه بود.

جدول ۱- تیمارهای اعمال‌شده

کد تیمار	درصد آبیاری اعمال‌شده
T120	۱۲۰
T100	۱۰۰
T80	۸۰
T60	۶۰

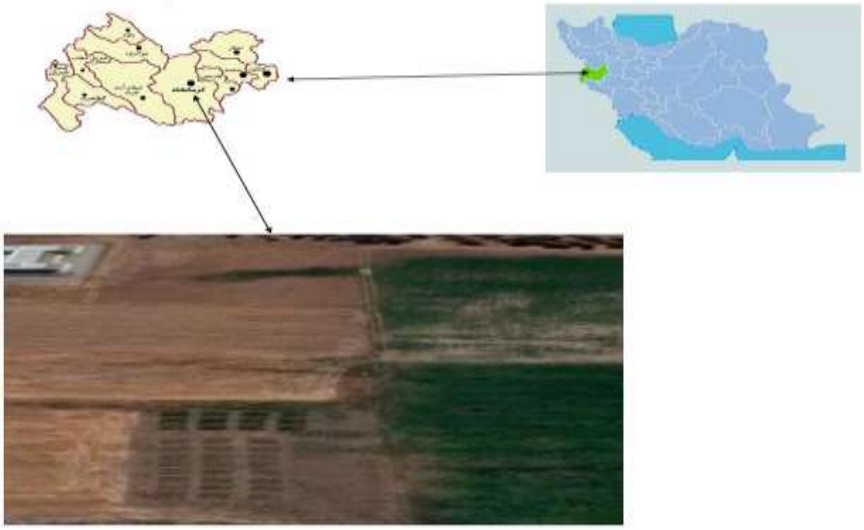
مشخصات و پارامترهای فیزیکی خاک مزرعه آزمایشی با نمونه‌برداری از اعماق مختلف (متناسب با حداکثر عمق مؤثر ریشه) و انجام آزمایش‌های لازم تعیین شد. سپس از نرم‌افزار SPAW (Saxton and Rawls, 2006) که از بانک اطلاعاتی قدرتمندی برخوردار است و با داشتن درصد اجزای تشکیل‌دهنده بافت خاک، پارامترهای فیزیکی آن را تخمین می‌زند، برای کنترل صحت نتایج آزمایش‌های فیزیکی خاک استفاده شد (جدول ۲).

عملیات آبیاری به‌صورت جویچه‌ای با انتهای بسته با دور آبیاری ۷ روزه (تابعی از ظرفیت نگهداری آب خاک، حداکثر تبخیر و تعرق و عادت و الگوی منطقه) با استفاده از شیلنگ و کنتور حجمی انجام شد. لازم به ذکر است در مراحل اولیه رشد، جهت اطمینان از سبز شدن بذرها دور آبیاری کمتر در نظر گرفته‌شده و اعمال تیمارها از آبیاری مرحله پنجم به بعد شروع شد. تیمارهای T120، T100، T80 و T60 به ترتیب تیمارهای ۲۰ درصد بیش‌آبیاری، آبیاری کامل (تیمار شاهد)، ۲۰ درصد کم آبیاری و ۴۰ درصد کم آبیاری هستند (جدول ۱). قبل از هر آبیاری و درمجموع طی ۱۷ مرحله رطوبت خاک در اعماق ۱۵، ۴۵ و ۶۰ سانتی‌متری به روش وزنی اندازه‌گیری گردید. تاریخ و عمق آبیاری در تیمارهای موردمطالعه در جدول ۳ گزارش‌شده است.

1- Index of agreement
2- Coefficient of efficiency
3- Root Mean Square Error

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- تصویر ماهواره‌ای موقعیت محل اجرای آزمایش در استان کرمانشاه

جدول ۲- مشخصات فیزیکی خاک محل آزمایش

رطوبت ظرفیت زراعی (درصد حجمی)	رطوبت نقطه پژمردگی (درصد حجمی)	رطوبت اشباع (درصد حجمی)	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/hr)	بافت خاک	عمق خاک (cm)
۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۵۵	۰/۴۲	clay	۰ - ۳۰
۰/۴۲	۰/۲۲	۰/۵۵	۰/۴۲	clay	۳۰-۶۰
۰/۴۳	۰/۲۳	۰/۵۲	۰/۵۰	silty clay loam	۶۰-۹۰

جهت واسنجی و صحت سنجی پارامترهای گیاهی مدل در طول دوره رشد وزن زیست‌توده و دانه و تاج پوشش گیاهی در زمان‌های مختلف اندازه‌گیری شد. درصد پوشش سبز اندام هوایی گیاه از طریق گرفتن عکس با استفاده از منو پاد از سطح فوقانی گیاهان و با استفاده از تحلیل تصویر گرفته‌شده در نرم‌افزار GIS با دقت مناسبی به دست آمد.

تاریخ کشت مناسب جهت اجرای مدل با توجه به نتایج یک تحقیق هم‌زمان دیگر که در جریان بود (صادقی، ۱۳۹۷)، برای ایستگاههای مختلف استان تعیین شد که نتایج آن در جدول (۴) ارائه‌شده است. مدل با توجه به این تاریخ کشت‌ها برای هر ایستگاه آماده و اجرا شد.

فایل هواشناسی

ابتدا یک فایل هواشناسی بر اساس داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی کرمانشاه که در ۲ کیلومتری محل انجام آزمایش واقع‌شده است تهیه گردید. از این فایل برای واسنجی و صحت سنجی مدل استفاده شد. در ادامه برای اجرای مدل واسنجی شده مقادیر داده‌های روزانه هواشناسی ۳۰ ساله (مربوط به سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۱۷) از ایستگاه‌های هواشناسی پنج شهرستان موردمطالعه تهیه و میانگین بلندمدت آن‌ها محاسبه شد. میانگین ۳۰ ساله میزان تبخیر و تعرق پتانسیل روزانه برای مناطق موردمطالعه با رابطه پنمن مانتیث اصلاح‌شده فائو (Allen et al,. 1998) و با استفاده از میانگین داده-های هواشناسی ۳۰ ساله محاسبه گردید.

محاسبه بهره‌وری

با استفاده از داده‌های بلندمدت هواشناسی و فایل گیاهی کالیبره شده مدل AquaCrop اجرا و بهره‌وری مصرف آب با توجه به عملکرد دانه و زیست‌توده با استفاده از روابط ۶ و ۷ به دست آمد.

$$\mathrm{WP_{grain}} = \frac{Y_{\mathrm{grain}}}{W} \qquad (۶)$$

$$WP_{biomass} = \frac{Y_{biomass}}{W} \qquad (۷)$$

در این روابط $\mathrm{WP_{grain}}$ و $\mathrm{WP_{biomass}}$ به ترتیب بهره‌وری مصرف آب نسبت به دانه و زیست‌توده تولیدی برحسب کیلوگرم بر مترمکعب

www.SID.ir

Archive of SID

آب، Y_{grain} و $Y_{biomass}$ به ترتیب عملکرد دانه و زیست‌توده برحسب کیلوگرم در هکتار و W مقدار آب آبیاری برحسب مترمکعب در هکتار می‌باشند.

جدول ۳- اطلاعات مربوط به زمان و مقدار آبیاری

مرحله آبیاری	تاریخ آبیاری	روز پس از کشت	مقدار آب آبیاری (میلی‌متر)			
			T60	T80	T100	T120
۱	۱۳۹۶/۳/۹	۵	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۲	۱۳۹۶/۳/۱۵	۱۱	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۳	۱۳۹۶/۳/۲۰	۱۶	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۴	۱۳۹۶/۳/۲۷	۲۳	۶۰	۶۰	۶۰	۶۰
۵	۱۳۹۶/۴/۳	۲۹	۴۰	۵۴	۶۷	۸۰
۶	۱۳۹۶/۴/۱۰	۳۷	۳۴	۴۶	۵۷	۶۸
۷	۱۳۹۶/۴/۱۷	۴۴	۲۵	۳۴	۴۲	۵۰
۸	۱۳۹۶/۴/۲۵	۵۲	۳۷	۵۰	۶۲	۷۴
۹	۱۳۹۶/۴/۳۱	۵۸	۲۵	۳۳	۴۱	۴۹
۱۰	۱۳۹۶/۵/۸	۶۶	۳۴	۴۶	۵۷	۶۸
۱۱	۱۳۹۶/۵/۱۵	۷۳	۲۶	۳۴	۴۳	۵۲
۱۲	۱۳۹۶/۵/۲۲	۸۰	۲۶	۳۴	۴۳	۵۲
۱۳	۱۳۹۶/۵/۲۹	۸۷	۲۹	۳۸	۴۸	۵۸
۱۴	۱۳۹۶/۶/۵	۹۴	۲۶	۳۴	۴۳	۵۲
۱۵	۱۳۹۶/۶/۱۲	۱۰۱	۲۲	۳۰	۳۷	۴۴
۱۶	۱۳۹۶/۶/۱۹	۱۰۸	۱۹	۲۶	۳۲	۳۸
۱۷	۱۳۹۶/۶/۲۶	۱۱۵	۱۷	۲۳	۲۹	۳۵
۱۸	۱۳۹۶/۷/۶	۱۲۶	۲۰	۲۶	۳۳	۴۰
جمع کل ارتفاع آب مصرفی در هر تیمار در کل دوره رشد (میلی‌متر)			۶۲۰	۷۴۸	۸۷۴	۱۰۰۰

جدول ٤- تاریخ کشت‌های بهینه در ایستگاه‌های تحت مطالعه

ایستگاه	کرمانشاه	اسلام‌آباد غرب	کنگاور	روانسر	سرپل ذهاب
تاریخ بهینه کشت	۱۵ اردیبهشت	۱۵ اردیبهشت	۲۵ اردیبهشت	۵ اردیبهشت	۱۶ فروردین

نتایج و بحث

واسنجی و صحت‌سنجی مدل

نخستین مرحله در استفاده از مدل‌های شبیه‌ساز، واسنجی مدل برای شرایط منطقه مورد آزمایش و گیاه زراعی مورد استفاده است. در اینجا با سعی و خطا، فایل گیاهی مدل به شرح جدول (۵) واسنجی گردید. پس از واسنجی مدل، عملکردهای برآورد شده، با استفاده از مشاهده‌های میانگین عملکرد در سال زراعی ۱۳۹۶ ارزیابی شد. نتایج داده‌های کالیبره شده در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی برای تیمارهای موردبررسی به شرح جدول (۶) است.

همان‌طور که در جدول (۶) مشاهده می‌شود مدل برای تیمارهایی که در مرحله واسنجی استفاده شدند، پوشش گیاهی و زیست‌توده را با دقت عالی شبیه‌سازی نمود. از بین این تیمارها مدل تیمار T80 را در شبیه‌سازی بین زیست‌توده و تیمارهای T120 و T80 را در شبیه‌سازی پوشش گیاهی و تیمار T120 را در شبیه‌سازی رطوبت خاک با بیشترین میزان دقت، شبیه‌سازی کرد. پس از واسنجی مدل AquaCrop با دو تیمار T120 و T80، برای بررسی دقت مدل اقدام به صحت‌سنجی مدل AquaCrop با دو تیمار T100 و T60 شد که نتایج به‌دست‌آمده از واسنجی مدل با استدوتو و همکاران نیز مطابقت خوبی داشت (Steduto et al., 2009). در این مرحله پارامترهای گیاهی که در مرحله واسنجی تعیین شد، بدون تغییر باقی ماند و مدل AquaCrop برای دو تیمار دوم اجرا گردید و صحت مدل و دقت آن در شبیه‌سازی پوشش گیاهی، زیست‌توده و رطوبت خاک موردبررسی قرار گرفت. با مقایسه نتایج مزرعه‌ای و نتایج شبیه‌سازی مدل واسنجی شده AquaCrop برای زیست‌توده و پوشش گیاهی ذرت و کسب اطمینان از دقت مدل در برآورد عملکرد ذرت دانه‌ای در منطقهٔ

www.SID.ir

Archive of SID

موردبررسی، از مدل برای برآورد عملکرد گیاه ذرت دانه‌ای در شرایط اقلیمی شهرستان‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، سرپل‌ذهاب، کنگاور و روانسر استفاده شد.

جدول ۵- پارامترهای گیاهی واسنجی شده مدل AquaCrop

پارامتر	واحد	مقدار		توضیحات
		پیش‌فرض	واسنجی	
درصد پوشش گیاهی اولیه	درصد	۰/۴۹	۰/۵۱	واسنجی شده
تراکم کشت	بوته در هکتار	۷۵۰۰۰	۱۰۲۰۰۰	اندازه‌گیری شده
بیشینه عمق مؤثر	متر	۱	۱/۲	واسنجی شده
ضریب رشد پوشش تاجی	درصد روز	۱۶/۳	۱۲/۷	واسنجی شده
ضریب کاهش پوشش تاجی	روز	۱۱/۷	۷	واسنجی شده
بیشینه درصد پوشش گیاهی	درصد	۹۴	۹۲	اندازه‌گیری شده
زمان جوانه‌زنی	درجه روز رشد	۶۹	۶۹	اندازه‌گیری شده
زمان رسیدن به بیشینه پوشش گیاهی	درجه روز رشد	۷۶۷	۹۷۴	اندازه‌گیری شده
زمان پیری	درجه روز رشد	۱۶۱۲	۱۴۲۰	اندازه‌گیری شده
زمان رسیدن فیزیولوژیک	درجه روز رشد	۱۹۴۳	۱۸۱۷	اندازه‌گیری شده
زمان گلدهی	درجه روز رشد	۹۵۸	۹۵۸	اندازه‌گیری شده
طول دوره گلدهی	درجه روز رشد	۲۲۰	۲۲۲	اندازه‌گیری شده
بهره‌وری آب	گرم بر مترمربع	۳۳/۷	۲۸/۱	واسنجی شده
شاخص برداشت	درصد	۴۸	۳۸	اندازه‌گیری شده
حد بالای ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاهی	بی‌بعد	۰/۱۴	۰/۲۵	واسنجی شده
حد پایین ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاهی	بی‌بعد	۰/۷۲	۰/۶۰	واسنجی شده
ضریب شکل برای ضریب تنش آبی جهت توسعه پوشش تاجی	بی‌بعد	۲/۹	۳	واسنجی شده
ضریب شکل میزان تنش واردشده با بسته شدن روزنه‌ها	بی‌بعد	۱/۹	۲	واسنجی شده
ضریب تخلیه آب خاک برای مرحله پیری	بی‌بعد	۸/۵	۶	واسنجی شده
دمای بالا	سانتی‌گراد	۳۰	۳۰	پیش‌فرض
دمای پایه	سانتی‌گراد	۸	۸	پیش‌فرض

جدول ٦- شاخص‌های آماری بین پارامترهای اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده جهت واسنجی و صحت‌سنجی

مرحله	تیمار	زیست‌توده				تاج پوشش گیاهی				رطوبت خاک			
		R	RMSE	EF	d	R	RMSE	EF	d	R	RMSE	EF	d
واسنجی	T120	۰,۹۹	۱/۳	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۹	۵/۲	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۳۱	۱۶/۴	−۱/۷۳	۰/۵۴
	T80	۰/۹۹	۰/۹	۰/۹۸	۱	۰/۹۸	۷/۲	۰/۹۳	۰/۹۸	۰/۷	۳۵	−۱/۵۴	۰/۵۳
صحت	T100	۱	۰/۹	۰/۹۹	۱	۰/۹۷	۹/۳	۰/۸۹	۰/۹۷	۰/۰۵	۲۱/۵	−۷/۸۲	۰/۳۵
سنجی	T60	۱	۱/۱	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۶	۹/۸	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۹۰	۵۸/۲	−۰/۷۴	۰/۷۳

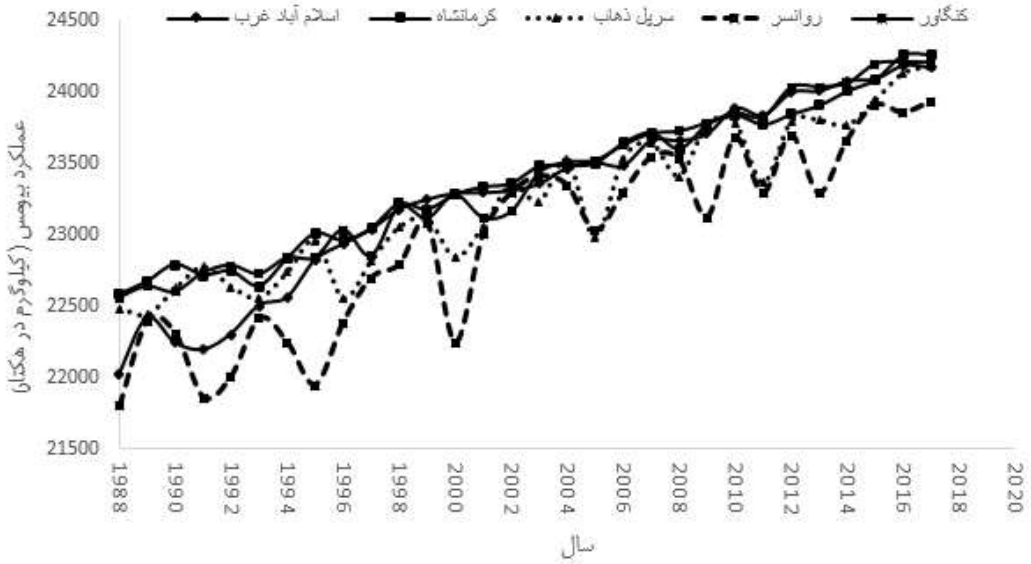
عملکرد زیست‌توده در پنج ایستگاه موردمطالعه در شکل ۲ نشان داده‌شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، مقدار متوسط عملکرد زیست‌توده در ۳۰ سال گذشته در ایستگاه کرمانشاه ۲۳۳۸۰ کیلوگرم در هکتار، کنگاور ۲۳۳۶۸ کیلوگرم در هکتار، اسلام‌آباد غرب ۲۳۱۵۵ کیلوگرم در هکتار، سرپل‌ذهاب ۲۳۲۲۲ کیلوگرم در هکتار و روانسر ۲۲۹۳۷ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. در این نمودار ملاحظه می‌شود که روند عملکرد در این بازه زمانی افزایشی است.

از دلایل عمده آن این است که اولاً روی محور عمودی نمودار مقادیر عملکرد از صفر شروع نشده و ثانیاً افزایش میزان CO_2 که اثر بارور کنندگی در محصولات زراعی دارد و با افزایش آن بهره‌وری آب به دلیل کاهش تعرق افزایش می‌یابد.

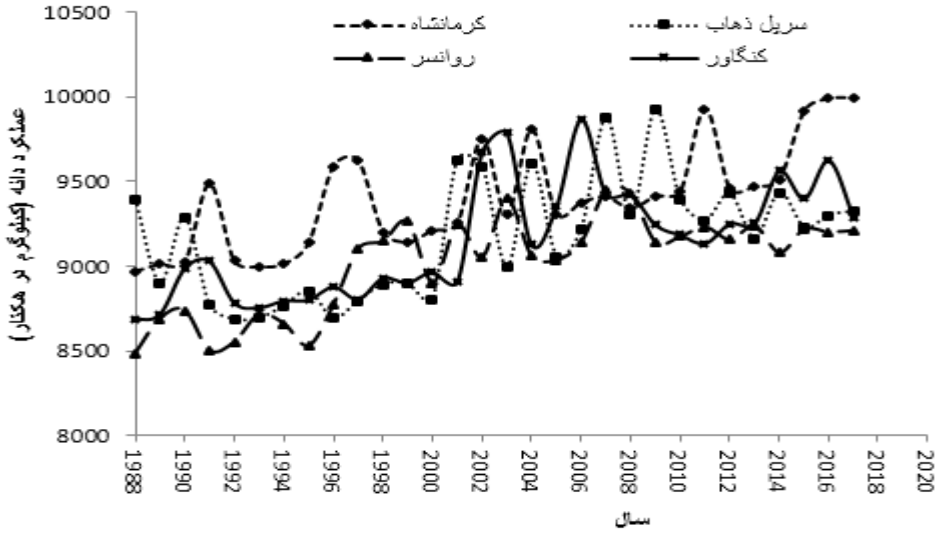
با استفاده از داده‌های بلندمدت هواشناسی و فایل گیاهی واسنجی شده مدل AquaCrop اجرا و عملکرد دانه در ایستگاه‌های موردمطالعه برآورد شد که در شکل ۳ نشان داده‌شده است. متوسط عملکرد برآورد شده دانه در ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول ۷ گزارش شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- عملکرد برآورد شده زیست‌توده ذرت دانه‌ای



شکل ۳- عملکرد برآورد شده دانه ذرت دانه‌ای

جدول۷- متوسط عملکرد برآورد شده دانه ذرت دانه‌ای در ایستگاه‌های تحت مطالعه

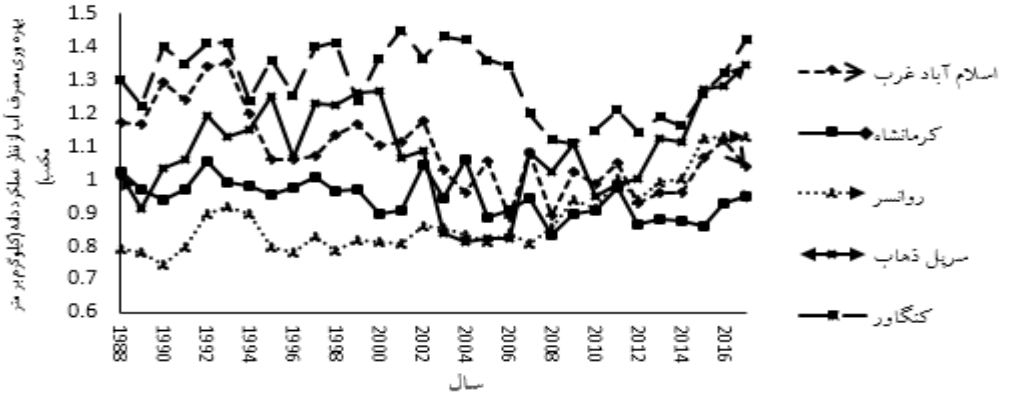
ایستگاه	کرمانشاه	اسلام‌آباد غرب	سرپل‌ذهاب	رواسر	کنگاور
عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	۹۴۰۳	۹۲۶۱	۹۱۷۱	۹۰۱۶	۹۱۵۱

بهره‌وری مصرف آب

با استفاده از داده‌های بلندمدت هواشناسی و فایل گیاهی واسنجی شده مدل AquaCrop اجرا شد و با توجه به عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده، بهره‌وری مصرف آب به دست آمد. با توجه به شکل ۴ متوسط بهره‌وری مصرف آب دانه در سی سال گذشته در ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، سرپل ذهاب، روانسر و کنگاور به ترتیب برابر با ۰/۹۴۶، ۱/۰۸۹، ۱/۰۸۵، ۰/۸۸۳ و ۱/۱۸۰ کیلوگرم بر مترمکعب شبیه‌سازی شد. نتایج نشان‌دهنده بالاتر بودن ایستگاه کنگاور در بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد دانه بود.

www.SID.ir

Archive of SID



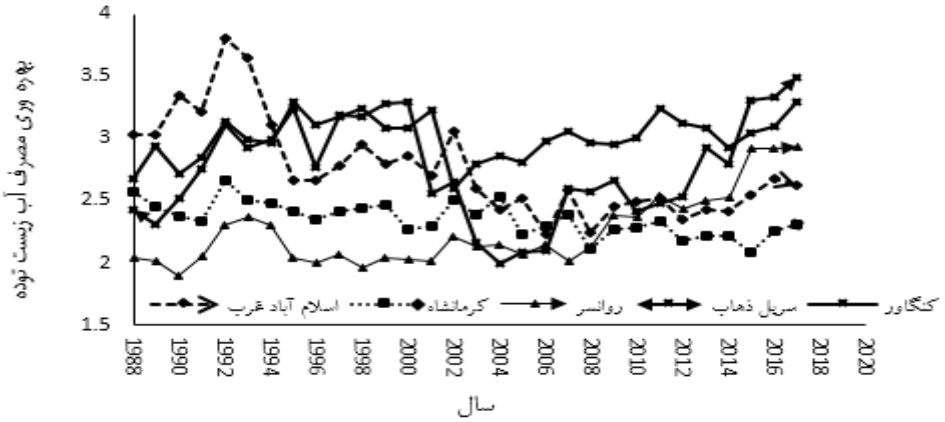
شکل٤- مقایسه بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد زیست‌توده در ایستگاه‌های تحت مطالعه

متوسط بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد زیست‌توده در شکل ۵ نشان داده‌شده است. این میزان در ایستگاه‌های کرمانشاه، اسلام‌آباد غرب، سرپل ذهاب، روانسر و کنگاور به ترتیب برابر با ۲/۳۵۴، ۲/۷۵۹، ۲/۷۵۴، ۲/۲۴۹ و ۳/۰۰۹ کیلوگرم بر مترمکعب به دست آمد و نتایج حاکی از بالاتر بودن ایستگاه کنگاور در بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد زیست‌توده بود (جدول ۸).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایجی که از این مطالعه به دست آمد می‌توان گفت که مدل AquaCrop نسبت به داده‌های واقعی به دلیل در نظر گرفتن شرایط پتانسیل و عدم هرگونه تنشی، با شیب ملایم افزایشی بعد از واسنجی، عملکرد زیست توده و دانه را در این رقم از ذرت دانه‌ای در ایستگاه‌های تحت بررسی نشان داد. از دیگر نتایج بدست آمده اینکه در ایستگاه کرمانشاه عملکرد دانه بیشتر از بقیه ایستگاه‌ها بوده ولی در ایستگاه کنگاور بهره‌وری آب بیشتر بوده است. این مورد بیانگر این است که ممکن است با افزایش عملکرد میزان بهره‌وری آب افزایش پیدا نکند. به‌طورکلی، نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه ابزار توانمندی جهت آنالیزهای مختلف مدیریت کشاورزی و منابع آب می‌باشند.

هرچند که در تحقیق حاضر فقط یک ابزار مدیریتی (مقدار آب آبیاری) موردبررسی قرار گرفت اما نتایج این مدل فقط منحصر به همین یک مورد نیست. انتخاب بهترین تاریخ کشت، انتخاب رقم مناسب برای کشت در یک منطقه با واسنجی کردن پارامترهای گیاهی رقم‌های مختلف یک محصول و مقایسه نتایج آن‌ها در منطقه موردنظر، از دیگر کاربردهای چنین مدل‌هایی هست.



شکل ۵- مقایسه بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد زیست‌توده در ایستگاه‌های تحت مطالعه

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۸- نتایج حاصل از اجرای مدل AquaCrop در ایستگاه‌های تحت مطالعه

پارامتر	کرمانشاه	اسلام‌آباد غرب	سرپل ذهاب	روانسر	کنگاور
عملکرد زیست‌توده پتانسیل (کیلوگرم در هکتار)	۲۳۳۸۰	۲۳۲۷۶	۲۳۲۲۲	۲۲۹۶۲	۲۳۳۶۸
عملکرد پتانسیل دانه (کیلوگرم در هکتار)	۹۴۰۳	۹۲۶۱	۹۱۷۱	۹۰۱۶	۹۱۵۱
مجموع تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر در سال)	۱۶۶۳	۱۴۴۳	۱۷۷۶	۱۶۵۸	۱۳۵۶
تبخیر تعرق فصلی ذرت (میلی‌متر)	۹۹۷	۸۵۷	۸۶۲	۱۰۳۲	۷۷۹
بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد دانه (کیلوگرم بر مترمکعب)	۰/۹۵	۱/۰۹	۱/۰۹	۰/۸۸	۱/۱۸
بهره‌وری مصرف آب بر اساس عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم بر مترمکعب)	۲/۳۵	۲/۷۶	۲/۷۵	۲/۲۵	۳/۰۱

منابع

افضلی، م، طاعی، ج، امیری نژاد، م. ۱۳۹۱. تخمین پتانسیل عملکرد ذرت دانه‌ای با استفاده از مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی در مناطق نیمه گرمسیری جنوب کرمان. " سومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار.

امداد، م.ر. تافته، آ. ۱۳۹۸. تعیین مناسب‌ترین عمق آب آبیاری گیاه گندم با استفاده از مدل Aquacrop در راستای ارتقای کارآیی مصرف آب. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۳(۲) :۴۲۵-۴۱۷.

جوزی، م. قربانی، ز. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل AquaCrop تحت مدیریت کم آبیاری کلون‌های جدید سیب‌زمینی در همدان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۱۴ (۱): ۲۴۰-۲۳۰.

خلیلی، ن، داوری، ک، علیزاده، ا، کافی، م، انصاری، ح. ۱۳۹۳. شبیه-سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل گیاهی آکواکراپ، مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سیستان، خراسان شمالی. نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸ (۵): ۹۳۹-۹۳۰.

رحیمی خوب، ح. ۱۳۹۳. واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop برای ذرت علوفه‌ای قزوین. نشریه‌ی آبیاری و زهکشی ۸ (۱): ۱۱۵-۱۰۸

صادقی، ب. ۱۳۹۷. تعیین تاریخ کشت بهینه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۶ و آفتابگردان رقم فرخ در استان کرمانشاه با استفاده از مدل AquaCrop به‌منظور افزایش بهره‌وری مصرف آب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه رازی.

علیزاده، ح، نظری، ب، پارسی‌نژاد، پ، رمضانی‌اعتدالی، ه، جانباز، ح. ۱۳۸۹. ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم‌آبیاری گندم در منطقه کرج. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، ۱۰ الی ۱۲ اسفند ۱۳۸۹.

مؤمنی، ر، نظری‌فربهانی، م ر، منتظر، ع ا و نظری‌فر، م ه. ۱۳۸۷. کاربرد مدل رشد گیاهی CropSyst جهت بررسی آنالیزهای مدیریتی افزایش بهره‌وری مصرف آب گندم (شبکه آبیاری و زهکشی شهید چمران اهواز) " دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های‌آبیاری‌وزهکشی، اهواز، دانشگاه چمران.

Allen, R., Pereira, L., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop Evapotranspiration, FAO Irrigation and Drainage Paper 56. FAO, Rome, Italy, 293 pp.

Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A. and Dejene, T. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficit and irrigated barley. Agricultural Water Management, 97(11):1838–1846.

Fadul, E., Masih, I., De Fraiture, C., and Suryadi, FX. 2020. Irrigation performance under alternative field designs in a spate irrigation system with large field dimensions. Agricultural Water Management, 231: 105989.

Geerts, S., Raes, D., Garcia, M., Miranda, R., Cusicanqui, J. A., Taboada, C., Mendoze, 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 101(3): 499-508.

Hoogenboom G.J., White J.W., and Messina C.D. 2004. From genome to crop: integration through simulation modelling. Field Crop Research. 90: 145 -163.1

Jamieson P.D., Porter J.R., and Wilson D.R. 1991. A test of the computer simulation model ARCWHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crops Research, 27(4): 337-350.

Raes D., Steduto P., Hsiao T.C., and Fereres E. 2009. Reference manual AquaCrop, FAO, Land and Water Division, Rome, Italy.

Saxton, K.E., and Willey, P.H. 2006. The SPAW model for agricultural field and pond hydrologic simulation. p. 401–435. In V.P.

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

www.SID.ir

Archive of SID

Xu, J., Bai, W., Li, Y., Wang, H., Yang, S., and Wei, Z. 2019. Modeling rice development and field water balance using AquaCrop model under drying-wetting cycle condition in eastern China. Agricultural Water Management, 213: 289-297.

principles. Agronomy Journal. 101:426–437.

Trimmer, W.L. 1990. Partial irrigation in Pakistan. J. ASCE Irrigation and Drainage Division 116 (3): 342-353.

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 1, Vol. 15, Apr.-May. 2021, p. 234-244

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۱، جلد ۱۵، فروردین - اردیبهشت ۱۴۰۰، ص. ۲۴۴-۲۳۴

Determination of Water Productivity in Grain Maize (KSC 706) using AquaCrop model in Kermanshah Province

M. Palash[1], A. Bafkar[2]*, B. Farhadi Bansouleh[3]
Recived: Dec.06, 2020 Accepted: Jan.12, 2021

Abstract

Among the indicators of optimizing water consumption in the agricultural sector; crop water productivity index has received more attention. This index is estimated based on the crop yield and water requirement, which depends on meteorological parameters, soil characteristics, field management and crop type. Due to changes in meteorological parameters in different regions, changes in the crop yield and water requirement in different regions can be expected. In this study, the Maize SC 706 was cultivated in the research farm of faculty of agriculture, Razi University, Kermanshah, in a randomized complete block design with treatments of 120, 100, 80 and 60% of irrigation requirement and three replications. The AquaCrop model was calibrated and validated using measured farm data. The results of model output and field data showed that the difference between biomass yield and grain yield in irrigation treatments was significant at the level of one percent. According to the calibrated crop file and daily meteorological data (1988-2017), water requirement and grain yield under full irrigation conditions in five synoptic stations of Kermanshah, Islam Abad Gharb, Sarpol-e Zahab, Ravansar and Kangavar were estimated using the model. The average of grain yield for the 30 years studied in these stations was estimated at 9403, 9261, 9171, 9016 and 9151 kg / ha, respectively. According to the estimated yield and water requirement, the amount of water productivity in the full irrigation conditions was calculated, the amount of which for Kermanshah, Islamabad Gharb, Sarpol Zahab, Ravansar and Kangavar stations respectively were 0.95, 1.09, 1.09, 0.88 and 1.18 kg of grain per cubic meter of water were estimated.

Keywords: AquaCrop, Deficit irrigation, Maize, Simulation, Spatial variation

1 - M.Sc. Graduated of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
2 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
3 - Assistant Professor, Department of Water Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran
(*- Corresponding Author Email: alibafkar@yahoo.com)

www.SID.ir