نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 4، جلد 10، مهر - آبان 1395، ص. 478-466

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 10, Sept.-Oct. 2016, p. 466-478

شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط دیم کامل و آبیاری تکمیلی و ارائه سناریوهای برتر مدیریتی در بالادست حوضه آبریز کرخه

محمد مهدی نخجوانی مقدم[1]، بیژن قهرمان[2*]، کامران داوری[3]، امین علیزاده[4]، حسین دهقانی سانیج[5]، علیرضا توکلی[6]

تاریخ دریافت: 1394/11/21 تاریخ پذیرش: 1395/3/12

چکیده

این تحقیق با هدف واسنجی و صحت‌سنجی مدل گیاهی AquaCrop برای گندم (رقم آذر 2) در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی و هم‌چنین ارائه سناریوهای برتر مدیریتی به‌منظور ارتقاء عملکرد و بهره‌وری آب گندم دیم در منطقه هنام شهرستان الشتر انجام گردید. مدل با استفاده از داده‌های مربوط به آزمایشات مزرعه‌ای در سال زراعی 85-1384 و به طریق کدنویسی در نرم افزار Matlab و تغییر بعضی از پارامترهای گیاهی متغیر که در مزرعه اندازه‌گیری نشده بودند، واسنجی گردید. با به کارگیری اطلاعات اندازه‌گیری شده در 2 مزرعه تحقیقاتی در شرایط مدیریتی متفاوت (دیم و تک-آبیاری بهاره و پاییزه) در سال زراعی 86-1385 مدل صحت‌سنجی گردید. نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قابلیت مدل‌سازی عملکرد دانه و بیوماس محصول را در شرایط دیم و تک‌آبیاری دارا می‌باشد. به‌طوری که در مرحله صحت‌سنجی برای عملکرد دانه و میزان بیوماس، شاخص RMSE به ترتیب برابر 0/16 و 0/32 تن در هکتار، شاخص NRMSE به ترتیب 5 و 4 درصد بدست آمد. و برای هر دو پارامتر فوق، مقدار ضریب تعیین برابر 0/86، شاخص‌های سازگاری (d) و نش- ساتکلیف (NSE) نزدیک به 1 حاصل گردید. پایش زراعی مزارع کشاورزان منطقه و همچنین نتایج شبیه-سازی مدل AquaCrop نشان داد که بر اساس شرایط اقلیمی سال زراعی 93-1392 تاریخ کاشت مناسب گندم دیم در منطقه هنام بین 6 تا 10 آبان ماه است. نتایج شبیه‌سازی مدل بیانگر آن است که با تغییر تاریخ کاشت از اول به دهم آبان عملکرد دانه، بیوماس و شاخص بهره‌وری آب مصرفی شبیه سازی شده گندم به طور میانگین به میزان 7، 6 و 11 درصد افزایش پیدا کرده‌اند. همچنین براساس سناریوهای خروجی مدل AquaCrop در منطقه هنام، مناسب‌ترین عمق و زمان تک آبیاری بهاره به ترتیب 50 میلی‌متر و میانه دوره گل‌دهی است.

واژه‌های کلیدی: تک آبیاری، صحت سنجی، مدل AquaCrop، هنام، واسنجی

مقدمه

گندم و جو مهم‌ترین محصولات زراعی دیم در بالادست حوضه آبریز کرخه می باشند. در این منطقه اگر چه اراضی دیم نقش مهمی در معیشت و تأمین زندگی مردم دارد، اما توزیع نامناسب بارندگی در طول فصل رشد و تغییرات شدید آن سبب شده است که در منطقه مذکور عملکرد غلات دیم و در نتیجه‌ی آن بهره‌وری بارش کم باشد (Farahani and Oweis., 2008). به‌منظور افزایش بهره‌وری آب کشاورزی در اراضی دیم بایستی ضمن در نظر گرفتن تأثیرات کمی تغییرات بارندگی بر عملکرد محصول، با کاربرد به‌موقع و بهینه مدیریت آبیاری تکمیلی، عملکرد محصول را در مزارع دیم بهبود بخشید. بدین منظور از دو روش آزمایش‌های مزرعه‌ای و مدل‌های شبیه‌سازی استفاده می‌شود. روش اول علاوه بر اینکه نیازمند آزمایش‌های مزرعه‌ای متعدد است، محدودیت‌هایی هم از جمله؛ محدود بودن مکان و شرایط آزمایش و کوتاه بودن زمان اجرای آزمایش دارد. روش دوم یعنی استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی، ابزاری مناسب برای ارزیابی و تعیین مدیریت بهینه آبیاری و بررسی تأثیرات کمی آب آبیاری بر عملکرد محصول است. در دهه گذشته، استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رونق تازه‌ای گرفت و مدل‌های متعددی جهت شبیه‌سازی رشد محصول، پیش‌بینی عملکرد محصول، شبیه‌سازی جریان آب در خاک و بهبود مدیریت آب در مزرعه ارائه شده است که یکی از آن‌ها مدل AquaCrop (Steduto et al., 2009) است. سادگی، نیاز به حداقل داده ورودی و دقت قابل قبول مدل از مزایای استفاده از مدل AquaCrop است (Geerts et al., 2009)؛ از این

1- دانشجوی دکتری گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد و عضو هیئت علمی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
2- استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
3- استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
4- استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
5- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
6 – استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
(*- نویسنده مسئول (Email: bijangh@um.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

مدل برای شبیه‌سازی جریان آب در خاک، برنامه‌ریزی آبیاری و برآورد عملکرد محصول استفاده می‌شود (Steduto et al., 2009).

مدل AquaCrop در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته و برای محصولات مختلفی از جمله؛ پنبه (Farahani et al., 2009)، ذرت (Heng et al., 2009)، جو (Araya et al., 2010)، کلزا (Zeleke et al., 2011) و گندم (Andarzian et al., 2011; zhang et al., 2013; Jin et al., 2014) در سطح جهان صحت‌یابی شده است. نتایج تحقیقات مک‌هابلا و بولاک (Mkhabela and Bullock., 2012) در غرب کانادا نشان داد که مدل AquaCrop قادر به شبیه‌سازی مطلوب عملکرد و رطوبت خاک بود. خلیلی و همکاران (1393) طی تحقیقی در ایستگاه تحقیقات دیم سیساب استان خراسان شمالی، دریافتند که مدل مذکور با دقت بالایی قابلیت شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم را دارا است.

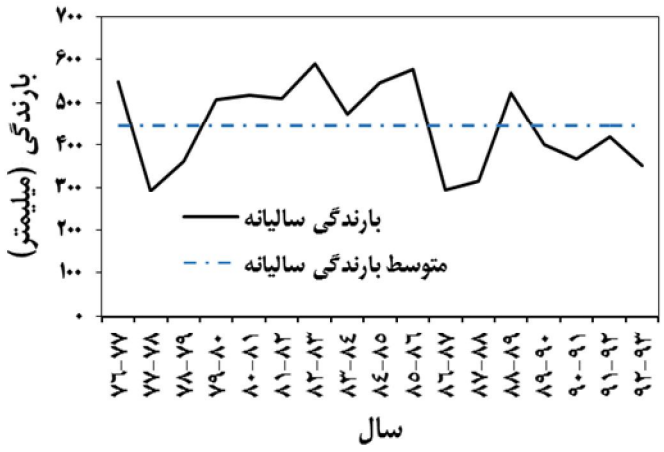
یکی از قابلیت‌های مهم مدل AquaCrop تعریف سناریوهای مختلف آبیاری تکمیلی (زمان و میزان) و بررسی تأثیر آن‌ها بر میزان تولید محصولات دیم است (Tavakoli et al., 2010). مزیت‌های نسبی آبیاری تکمیلی بسته به زمان کاربرد آن شامل جلو افتادن مرحله رشد، کنترل تنش انتهای فصل، زودرسی محصول و نهایتاً افزایش تولید است (توکلی و همکاران، 1389) برابر با آنچه مستند به مراحل حساس رشد گندم در زراعت دیم است، زمان مناسب تک آبیاری بهاره در مرحله ظهور سنبله تا گل‌دهی است که از طریق کنترل تنش رطوبتی معمول این دوره و ایجاد مخزن رطوبتی مناسب برای دوره‌ی رشد زایشی محصول، بیش‌ترین تأثیر را خواهد داشت (Tavakoli et al, 2012).

در استان لرستان و به عنوان بخشی از بالادست حوضه کرخه، عملکرد گندم دیم و بهره‌وری بارش نه تنها کم است بلکه دارای تغییرات شدیدی است که این موضوع متأثر از مدیریت زراعی ضعیف، محدودیت دسترسی به ادوات زراعی و تغییرات بارندگی است (Tavakoli et al., 2010). در این منطقه عملکرد گندم دیم از 1 تا 2 تن در هکتار متغیر است در حالی که عملکرد قابل دسترس بیش‌تر از 4 تن در هکتار است (Farahani and Oweis., 2008). برای افزایش عملکرد گندم دیم و بهبود بهره‌وری بارش در منطقه مذکور بایستی ضمن در نظرگرفتن شرایط اقلیمی، از شیوه‌های نوین مدیریت زراعی و آبیاری تکمیلی استفاده نمود. از این‌رو هدف از انجام مطالعه حاضر: الف) ارزیابی و آزمون کارآیی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم (در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی) در مزارع کشاورزان بالادست حوضه آبریز کرخه (به‌طور ویژه دشت هنام در استان لرستان) و ب) ارائه سناریوهای برتر مدیریتی آبیاری تکمیلی به منظور افزایش عملکرد گندم دیم و بهره‌وری آب در سطح منطقه مذکور است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه هنام در بالادست حوضه آبریز کرخه و در جنوب شهر الشتر بین طول جغرافیائی 48 درجه و 12 دقیقه تا 48 درجه و 28 دقیقه شرقی و عرض 33 درجه و 45 دقیقه تا 33 درجه و 51 دقیقه شمالی قرار دارد. این حوضه از شمال به دشت الشتر، از جنوب به کوه‌های اسپش، داریکنان و نشانه، از شرق به دامنه رشته کوه گرین و از غرب به منطقه دوآب الشتر و روستاهای زیرطاق و سیاه‌پوش محدود است. مساحت حوضه حدود 14200 هکتار است که 4270 هکتار از آن را اراضی زراعی تشکیل می‌دهند (سپه‌وند، 1390). منطقه هنام جزء مناطق سرد استان لرستان محسوب شده و دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل است. میانگین بارندگی 17 ساله منطقه (سال زراعی 77-76 لغایت سال 93-1392) 446 میلی‌متر است. کل بارندگی در سال‌های زراعی 85-1384، 86-1385 و 93-1392 به ترتیب برابر 544، 574 و 353 میلی‌متر بوده است (شکل 1).



شکل 1- میزان بارندگی منطقه الشتر طی سال های مختلف

Archive of SID

www.SID.ir

مدل شبیه‌سازی AquaCrop

مدل AquaCrop از معادله دورنباس و کاسام (Doorenbos and Kassam., 1979) که در آن ET نسبی اساس محاسبه عملکرد است، استنتاج شده است. این مدل به‌وسیله الف) تفکیک تبخیر-تعرق (ET) به تعرق از سطح محصول(Tr) و تبخیر از سطح خاک (E)، ب) توسعه مدل ساده رشد و پیری تاج پوشش گیاهی به عنوان پایه برآورد Tr و تفکیک آن از تبخیر، ج) شبیه‌سازی عملکرد نهایی (Y) به عنوان تابعی از زیست توده نهایی (B) و شاخص برداشت (HI) و د) تفکیک اثرات تنش آبی در چهار جزء: رشد پوشش تاجی، پیری پوشش تاجی گیاه، Tr، HI توسعه یافته است. تفکیک ET به Tr و E از اثر مصرف غیر تولیدی آب از طریق E به‌ویژه در شرایط پوشش گیاهی ناکامل جلوگیری می‌کند. تعرق روزانه (Tr_i) با استفاده از ET_o روزانه و بهره‌وری آب (B) گونه گیاهی است که با استفاده از نیاز تبخیری و غلظت اتمسفری نرمال شده به وزن هوایی گیاه تبدیل می‌شود. معادله 1 بیان ریاضی این رابطه می‌باشد:

$$B = WP^* \left[\frac{T_{ri}}{ET_{oi}} \right] \quad (1)$$

در این معادله WP^* بهره‌وری آب (زیست توده ناشی از هر واحد تبخیر- تعرق تجمعی) که مقدار آن در شرایط اقلیمی مشابه ثابت و برابر است (Hanks., 1983). با نرمال کردن WP برای شرایط اقلیمی متفاوت مقدار آن به پارامتری ثابت تبدیل خواهد شد (Steduto et al., 2009). در تمام دوره رشد گیاه، مقدار آب ذخیره شده در ناحیه ریشه از طریق بیلان آبی جریان آب ورودی (آبیاری + بارندگی + صعود مویینه سطح ایستابی (درصورت بالا بودن سطح ایستابی)) و خروجی (رواناب، نفوذ عمقی و تبخیر-تعرق) در ناحیه ریشه شبیه‌سازی می‌شود. شدت ضرایب تنش آبی مؤثر بر توسعه پوشش تاجی، هدایت روزنه‌ای تعرق (شدت تعرق در واحد)، پیری و کاهش پوشش تاجی و شاخص برداشت به وسیله کسر تخلیه آب در ناحیه ریشه تعیین می‌شود. مقدار عملکرد گیاه با استفاده از جرم قسمت هوایی شبیه‌سازی شده و شاخص HI تعدیل شده محاسبه می‌گردد. به‌طور کلی پارامترهای ورودی مدل شامل: داده‌های مربوط به آب و هوا، گیاه، خاک، مدیریت زراعی و مدیریت آبیاری است. مهم‌ترین خروجی‌ها شامل تغییرات زمانی رطوبت در نیم‌رخ خاک، آب آبیاری مورد نیاز، تغییرات زمانی تبخیر و تعرق، پارامترهای موازنه‌ی آب خاک، درصد پوشش گیاهی در طول فصل رشد، عملکرد، دانه، ماده خشک تولیدی، شاخص برداشت و نیز شاخص بهره‌وری تعرق در تولید دانه وماده خشک تولیدی است.

اطلاعات موجود و داده‌های مزرعه‌ای

در این مطالعه، برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop (Ver. 4.0) از داده‌های حاصل از آزمایشات مزرعه‌ای توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2010) در دو سال زراعی 85-1384 و 86-1385 برای منطقه هنام استفاده گردید. داده‌های سال اول برای واسنجی و داده‌های سال دوم برای صحت‌سنجی مدل به‌کار گرفته شد. تیمارهای آزمایشی توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2010) شامل تک آبیاری پاییزه، تک آبیاری بهاره و بدون آبیاری (شرایط دیم) گندم بودند. آزمایشات هر سال در دو مزرعه جداگانه انجام گرفت. میزان بذر برابر 350 دانه در متر مربع بود. عملیات کاشت با بذر ضدعفونی شده (رقم آذر 2) و با ماشین ردیف‌کار و عملیات کودپاشی بر طبق آزمون خاک و توصیه کودی انجام گرفته بود.

داده‌های آب و هوا

در بخش آب و هوا، مدل به داده‌های 5 متغیر ورودی؛ حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه، بارندگی روزانه، تبخیر- تعرق مرجع (ETo) و غلظت دی اکسید کربن موجود در جو نیاز دارد. میزان دی-اکسید کربن موجود در اتمسفر در مدل به صورت پیش فرض از سال 1902 تا 2099 موجود است. در این مطالعه برای تأمین داده‌های هواشناسی، از اطلاعات ایستگاه هواشناشی الشتر (واقع در 5 کیلومتری دشت هنام) استفاده گردید. تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از نرم افزار ETo-calculator (Raes, 2012)که با مدل AquaCrop پیوند دارد، به روش پنمن مانتیث فائو برآورد شد.

پارامترهای گیاهی

داده‌های گیاهی ورودی مدل شامل پارامترهای ثابت و پارامترهای ویژه‌ی کاربر مانند تراکم و فواصل کاشت، عمق ریشه، تاریخ کاشت مطابق با شرایط آزمایش هستند. دمای پایه و دمای فوقانی رشد برای گندم به ترتیب 0 و 26 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد (پیش فرض مدل برای گندم). عمق ریشه گندم حداقل برابر 30 و حداکثر برابر 60 سانتی‌متر ثبت گردید (Tavakoli et al., 2010).

مدیریت آبیاری

تیمارهای آبیاری محدود که برای مزارع کشاورزان اعمال گردید، شامل؛ تک آبیاری پاییزه (عمق 75 میلی‌متر) در زمان کاشت، تک-آبیاری بهاره (عمق 50 میلی‌متر) در مرحله گل‌دهی و بدون آبیاری (شرایط دیم). حجم آب مورد نیاز در تیمارهای تک آبیاری پاییزه و بهاره از حاصلضرب سطح مزرعه در عمق آبیاری تعیین شد. با استفاده از فلوم WSC تیپ 3 میزان آب ورودی به مزرعه کنترل گردید (Tavakoli et al., 2010).

Archive of SID

www.SID.ir

خاک

ویژگی‌های هیدرولیکی خاک شامل: هدایت هیدرولیکی اشباع، درصد رطوبت حجمی در حالت اشباع، ظرفیت مزرعه و نقطه پژمردگی است. برای شناسایی خاک زراعی در منطقه هنام، نمونه‌هایی در نقاط مختلف مزارع تحقیقاتی و از اعماق 0 تا 100 سانتی‌متری تهیه گردید. بخشی از متوسط ویژگی‌های نمونه‌های خاک در اعماق 0-20 و 20 -100 سانتی‌متری در جدول 1 ارائه شده است.

جدول 1- برخی از مشخصات فیزیکی نمونه‌های خاک در آزمایش‌های مزرعه‌ای (Tavakoli et al., 2010)

عمق خاک (cm)	سهم ذرات خاک (%)			بافت خاک	چگالی ظاهری BD (gr/cm^3)	رطوبت حجمی خاک %		درصد اشباع θ_{sat}	هدایت هیدرولیکی اشباع K_{sat} (m/day)
	شن	رس	سیلت			PWP	FC		
20-0	22/5	19	58/5	لومی سیلتی	1/383	11/8	28/9	47/8	0/297
100-20	22/5	24	53/5	لومی سیلتی	1/347	13/8	30/4	49/2	0/181

واسنجی مدل AquaCrop

در این تحقیق، ابتدا داده‌های هواشناسی، خاک، مدیریت مزرعه و شرایط اولیه که اندازه گیری یا تخمین زده شده بودند (Tavakoli et al., 2010)، وارد مدل گردیدند. میزان پوشش اولیه و مرحله پیری بر اساس مشاهدات مزرعه‌ای و با توجه به ثبت مراحل اساسی رشد محصول برآورد گردید (جدول 2). سپس فایل‌های مجزای محصول برای تیمارهای سه گانه ایجاد شد.

جدول 2- مراحل فنولوژیکی گندم دیم (رقم آذر 2) در منطقه هنام شهرستان الشتر (بالادست حوضه کرخه) براساس آزمایشات مزرعه‌ای توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2010)

پارامتر گیاهی	مقدار(day)	مقدار (GDD)
زمان از کاشت تا سبز شدن	18	203
زمان از کاشت تا رسیدن به حداکثر عمق ریشه	184	1283
زمان از کاشت تا رسیدن به حداکثر پوشش گیاهی	194	1443
زمان از کاشت تا گل دهی	203	1555
طول دوره گل دهی	12	185
زمان از کاشت تا شروع پیری گیاه	245	2246
زمان از کاشت تا رسیدگی کامل گیاه	272	2752

برای واسنجی مدل AquaCrop (Ver. 4.0) از نرم افزار Matlab (Ver. 7.5.0.342 (R2007b)) استفاده گردید. برای اتصال مدل به نرم‌افزار Matlab، از فایل اجرایی plug-in program مدل AquaCrop که در سایت فائو موجود می‌باشد، استفاده گردید. به‌طوریکه ابتدا فایل پروژه که شامل فایل‌های هواشناسی، گیاهی، خاک، مدیریت زراعی و مدیریت آبیاری بود، برای گندم دیم با استفاده از مدل AquaCrop ساخته شد. سپس با استفاده از فایل اجرایی plug-in program فایل پروژه ساخته شده با کد نوشته شده در نرم افزار Matlab متصل گردید. در مرحله بعد، ابتدا پارامترهای گیاهی ورودی مربوط به تیمار آبیاری تکمیلی بهاره (تیمار شاهد) وارد مدل گردید. سپس مدل برای این تیمار با استفاده از کدنویسی در نرم افزار Matlab و تغییر بعضی از پارامترهای گیاهی متغیر که در مزرعه اندازه‌گیری نشده بودند (از جمله ضریب تعرق گیاهی (KC_{Tr})، درصد پوشش گیاهی ماکزیمم (CC_x)، ضریب کاهش پوشش گیاهی (CDC)، ضریب رشد پوشش گیاهی (CGC)، بهره‌وری آب نرمال شده[1] (WP^*))، واسنجی گردید. به طوری که هر پارامتر در دامنه +50 تا 50- درصد با گام‌های 0/01 تغییر داده شد و خطای نسبی بین عملکرد دانه و زیست توده (بیوماس) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده محاسبه شدند. پارامترهای مربوط به کم‌ترین خطای نسبی به عنوان پارامترهای واسنجی شده در نظر گرفته شدند. سپس مدل با استفاده از کدنویسی در نرم افزار Matlab و تغییر ضرایب تنش آبی موجود در مدل (یعنی Ks_{sen}، $Ks_{exp,w}$ و Ks_{sto}) در دامنه 50+ تا 50- درصد با گام‌های 0/01، به طور همزمان برای سه تیمار تک آبیاری پاییزه، تک آبیاری بهاره و بدون آبیاری (شرایط دیم) واسنجی گردید. مجذور میانگین مربعات خطا[2] (RMSE) بین عملکرد دانه و زیست توده (بیوماس) اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای هر مرحله

1 -Normalized crop water productivity
2- Root Mean Square Error

Archive of SID

www.SID.ir

تغییر پارامترها، محاسبه و ضرایب تنش آبی مربوط به کم‌ترین RMSE به عنوان ضرایب واسنجی شده درنظر گرفته شدند.

- به منظور صحت سنجی مدل، با استفاده از مدل واسنجی شده و به کارگیری اطلاعات اندازه‌گیری شده در 2 مزرعه تحقیقاتی (عملکرد دانه و بیوماس) در سال زراعی 86-1385 (Tavakoli et al., 2010)، عملکرد دانه و بیوماس شبیه‌سازی و با مقادیر اندازه‌گیری شده درتیمارهای سه‌گانه (دیم و تک آبیاری بهاره و پاییزه) مقایسه گردید. بدین منظور از شاخص‌های ارزیابی آماری شامل: RMSE، شاخص توافق ویلموت یا شاخص سازگاری[1] (d) (Willmott., 1982)، مجذور میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) [2] و ضریب نش و ساتکلیف[3] (NSE) (Nash and Sutcliffe., 1970) استفاده گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - M_i)^2}{n}} \quad (2)$$

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - M_i)^2}{n}} \times \frac{100}{\overline{M}} \quad (3)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(S_i - M_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|S_i - \overline{M}| + |M_i - \overline{M}|)^2}\right] \quad (4)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(M_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(M_i - \overline{M})^2} \quad (5)$$

در روابط فوق S_i، M_i، $\overline{M}$ و n به ترتیب مقادیر پیش‌بینی شده، اندازه‌گیری شده، میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و تعداد نمونه‌های به‌کار رفته می‌باشد. واحد RMSE معادل واحد داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد و هر چه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، کارایی مدل بیش‌تر خواهد بود. شاخص NRMSE مقادیر کلی یا میانگین نرمال شده انحراف مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد که مبین عدم اطمینان مطلق مدل است. هرچه این مقدار به صفر نزدیک‌تر باشد، عملکرد شبیه‌سازی مدل بهتر است. دامنه مقادیر شاخص d از منفی بینهایت تا 1 متغیر است و مقدار 1 توافق کامل بین داده‌های مشاهداتی (اندازه‌گیری شده) و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. شاخص NSE یک آماره نرمال شده است که مقدار نسبی واریانس باقی‌مانده را در مقایسه با واریانس داده‌های اندازه‌گیری شده محاسبه می‌کند (Nash and Sutcliffe., 1970). دامنه تغییرات شاخص NSE نیزشامل منفی بینهایت تا 1 است که مقدار بهینه آن 1 است.

پس از اینکه مدل AquaCrop برای منطقه هنام با استفاده از داده‌های توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2010) واسنجی و صحت‌سنجی شد، در سال زراعی 93-1392 تعداد 10 مزرعه گندم دیم در نقاط مختلف منطقه هنام انتخاب و مورد پایش زارعی قرار گرفتند (جدول 3).

در طول فصل رشد از اعماق 0-20، 20-40، 40-60 و 60-80 سانتی‌متری خاک در نقاط مختلف مزارع منتخب نمونه‌برداری انجام شد. نمونه‌های خاک در آزمایشگاه بخش تحقیقات خاک و آب مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی لرستان و آزمایشگاه تحقیقات مهندسی آب و خاک و فاضلاب موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی آنالیز شد (جدول 4). هدایت هیدرولیکی اشباع خاک با استفاده از نرم افزار Soil Water Characteristics Ver. 6.02.74 (Saxton and Rawls., 2006) تعیین گردید.

با داشتن متوسط مشخصات فیزیکی خاک مزارع منتخب، داده‌های زراعی بر گرفته‌شده از مزرعه شماره 1 (چون تنها مزرعه‌ای بود که از رقم اصلاح شده آذر 2 استفاده کرده بود) و هم‌چنین اطلاعات اقلیمی منطقه برای سال زراعی 93-92، مقادیر عمکرد دانه و بهره‌وری آب گندم دیم با استفاده از مدل واسنجی و صحت‌سنجی‌شده AquaCrop شبیه‌سازی گردید. علاوه بر آن در پایان فصل زراعی 93-92 مقادیر عملکرد دانه واقعی هر کدام از مزارع دهگانه از طریق نمونه‌گیری تعیین گردید و با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل (به ازاء تاریخ کشت‌های متفاوت) مقایسه گردید. عوامل مؤثر بر اختلاف عملکرد دانه و بهره‌وری آب گندم واقعی و شبیه‌سازی شده در منطقه مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، سناریوهای مدیریتی به منظور ارتقاء عملکرد و بهره‌وری آب گندم تعریف گردید. این سناریوها شامل اعمال تاریخ کاشت مناسب و به‌کارگیری مدیریت آبیاری تکمیلی مناسب (زمان و میزان) بودند.

نتایج و بحث

واسنجی مدل

پارامترهایی که در واسنجی‌کردن مدل AquaCrop مورد استفاده قرار گرفتند، در جدول 5 ارائه شده‌اند. در این جدول روش تعیین پارامترها نیز مشخص شده است. در مطالعه حاضر مقادیر مذکور نسبت به اعداد پیش فرض موجود در مدل متفاوت بودند. این امر به علت نوع رقم مورد استفاده، شرایط آب و هوایی و خاک منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

1- Willmott index of agreement
2- Normalized Root Mean Square Error
3- Nash & Sutcliffe

Archive of SID

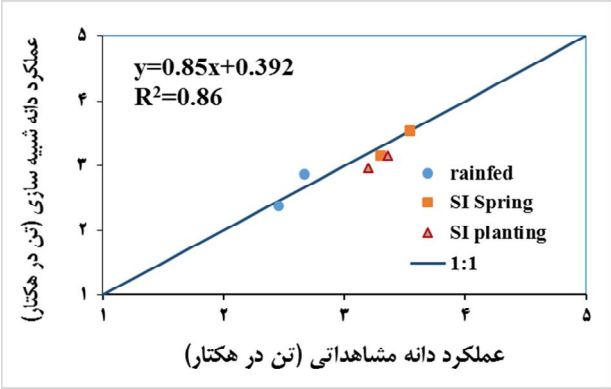
www.SID.ir

جدول 3- مشخصات مزارع منتخب کشاورزانی که در سال زراعی 93-1392 تحت پایش زراعی قرار گرفتند

شماره مزرعه	نام کشاورز	روستا	سطح مزرعه (هکتار)	شماره مزرعه	نام کشاورز	روستا	سطح مزرعه (هکتار)
1	مراد عزیزاللهی	حسین آباد	5	6	ملک محمد فاضلی	سیاهپوش	3
2	نصرا.. ملکی صادقی	حسین آباد	1	7	حمید کرم اللهی	سیاهپوش	5
3	نصرا... میرزایی	زیرطاق	3	8	حمید جوانمرد	عباس آباد	7
4	یونس نورالهی	نوراللهی	0/5	9	شیر محمد سیاهپوش	سیاهپوش	1
5	منصور سیاهپوش	سیاهپوش	1	10	نورمحمدی	به تکی	1

جدول 4- متوسط مشخصات فیزیکی خاک مزارع منتخب در سال زراعی 93-1392

عمق خاک (cm)	سهم ذرات خاک (%)			بافت خاک	چگالی ظاهری	رطوبت حجمی خاک %		درصد اشباع	هدایت هیدرولیکی اشباع
	شن	رس	سیلت		BD (gr/cm^3)	PWP	FC	θsat	K_{sat} (m/day)
20-0	7	40	53	رسی سیلتی	1/35	23/9	39/6	49/2	0/559
40-20	5	47	48	رسی سیلتی	1/29	27/7	42/1	51/4	0/381
60-40	8	45	47	رسی سیلتی	1/32	26/6	41/2	50	0/386
80-60	10	44	46	رسی سیلتی	1/33	26/1	40/7	49/6	0/223



شکل 2- میزان همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده عمکرد دانه گندم

نتایج ارزیابی مدل AquaCrop بر اساس میزان عملکرد دانه و بیوماس

مقادیر عملکرد دانه و بیوماس شبیه‌سازی شده گندم در شرایط دیم، تک آبیاری پاییزه (SI[1] planting) و تک آبیاری بهاره (SI spring) در مقابل مقادیر اندازه‌گیری شده آن همراه با خط همسانی (خط1:1) در شکل‌های 2 و 3 نشان داده شده است. بررسی رابطه بین مقادیر عملکرد دانه و بیوماس اندازه‌گیری شده با مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل (شکل‌های 2 و 3) نشان‌دهنده توانمندی مدل در تخمین مناسب عملکرد تحت شرایط دیم و تک آبیاری است. به‌طوریکه مقدار ضریب تعیین (R^2) در هر دو رابطه برابر 86 درصد حاصل گردید. جین و همکاران (Jin et al., 2014) نشان دادند که مدل AquaCrop توانسته است عملکرد دانه (R^2=0.93) و بیوماس (R^2=0.91) گندم را در دشت‌های شمالی چین با دقت بالایی شبیه‌سازی نماید که با نتایج این تحقیق مطابقت دارد.

میزان عرض از مبدا معادله رگرسیونی در شکل 2 کم‌تر از معادله ارائه شده در شکل 3 است. هم‌چنین میزان شیب معادله رگرسیونی در شکل 2 بیش‌تر از معادله ارائه شده در شکل 3 است. این امر نشان دهنده آن است که بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی عملکرد دانه نسبت به مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی بیوماس میزان خطای نسبی کم‌تر و در عین حال میزان ثبات بیش‌تری بر قرار است. شاخص RMSE در مرحله صحت‌سنجی برای عملکرد دانه و میزان بیوماس به ترتیب برابر 0/16 و 0/32 تن در هکتار حاصل گردید (جدول 6).

1- Single Irrigation

www.SID.ir

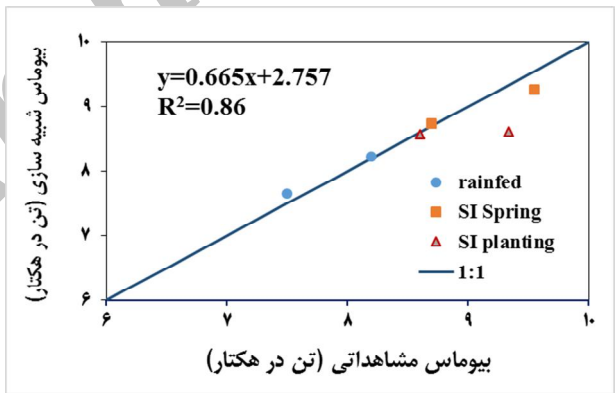
این امر نشان می‌دهد که مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد دانه نسبت به بیوماس دقت بیش‌تری داشته است.

جدول 5- پارامترهای واسنجی شده مدل AquaCrop برای شبیه سازی عملکرد گندم دیم براساس آزمایشات مزرعه‌ای توکلی و همکاران (Tavakoli et al., 2010)

پارامتر	واحد	مقدار	روش تعیین
دمای پایه (T_{Base})	°C	0	پیش فرض
دمای فوقانی رشد ($T_{Cut-off}$)	°C	26	پیش فرض
پوشش گیاهی اولیه گیاه (CC_0)	cm^2	1/5	اندازه گیری
پوشش گیاهی حداکثر گیاه (CCx)	%	0/76	واسنجی
ضریب رشد گیاه (CGC)	%/day	0/29	واسنجی
ضریب کاهش پوشش گیاهی (CDC)	%/day	0/41	واسنجی
ضریب گیاهی برای تعرق هنگامی که پوشش گیاهی کامل است	-	0/83	واسنجی
کاهش در ضریب گیاهی پس از رسیدن به پوشش گیاهی حداکثر	-	0/15	واسنجی
بهره‌وری آب نرمال شده (WP*)	g/m^2	14/5	واسنجی
آستانه بالایی تخلیه رطوبت خاک برای توسعه گیاه (P_{upper})	-	0/12	واسنجی
آستانه پایینی تخلیه رطوبت خاک برای توسعه گیاه (P_{lower})	-	0/77	واسنجی
فاکتور شکل منحنی ضریب تنش آبی برای توسعه گیاه	-	4/1	واسنجی
آستانه بالایی تخلیه رطوبت خاک برای بسته شدن روزنه ها	-	0/19	واسنجی
فاکتور شکل منحنی ضریب تنش آبی برای بسته شدن روزنه‌ها	-	0/7	واسنجی
آستانه بالایی تخلیه رطوبت خاک برای پیری گیاه (canopy senescence)	-	0/41	واسنجی
فاکتور شکل منحنی ضریب تنش آبی برای پیری گیاه	-	5	واسنجی
شاخص برداشت اصلاح شده	%	36	واسنجی

جدول 6- شاخص‌های آماری برای ارزیابی کارایی مدل AquaCrop در منطقه هنام الشتر

پارامتر	R^2	RMSE	(%) NRMSE	d	NSE
عمکرد دانه	0/86	0/16	5	0/99	0/99
بیوماس	0/86	0/32	4	0/99	0/99



شکل 3- میزان همبستگی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه گیری‌شده بیوماس گندم

میانگین مجذور مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری شده برای عملکرد دانه و بیوماس به ترتیب 5 و 4 درصد بدست آمد (جدول 6) که عالی است. بر اساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی که NRMSE کم‌تر از 10% باشد، عالی، اگر بین 10 تا 20% باشد، خوب، اگر بین 20 تا 30 درصد باشد، متوسط و اگر بالاتر از 30% باشد ضعیف برآورد می‌شود (Rinaldy et al., 2003). اندرزیان و همکاران (Andarzian et al., 2011) طی پژوهشی گزارش کردند که مدل AquaCrop به

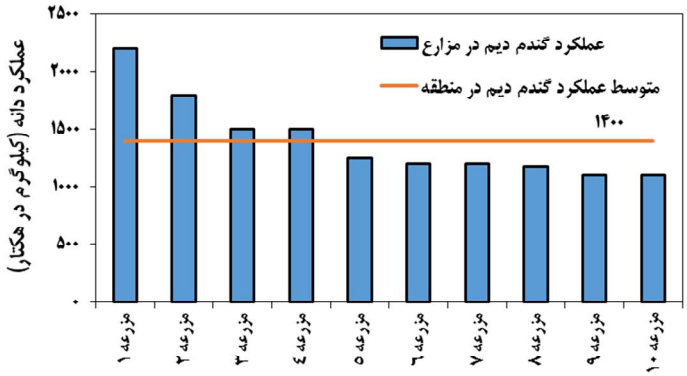
Archive of SID

www.SID.ir

خوبی توانسته است که بیوماس و عملکرد دانه گندم رادر شرایط آبیاری کامل و کم‌آبیاری شبیه‌سازی کند، این محققان ریشه دوم خطای میانگین مربعات نرمال کم‌تر از 10 درصد به دست آوردند. نتایج تحقیقات ژانگ و و همکاران (Zhang et al., 2013) بر روی گندم زمستانه در جنوب چین نشان داد که مدل AquaCrop وزن اندام هوایی، وزن دانه و رطوبت خاک را به خوبی شبیه‌سازی کرد. برای وزن اندام هوایی گندم و وزن دانه مقدار شاخص RMSE به ترتیب در محدوده 0/38-0/16 و 1/44-0/5 تن در هکتار گزارش گردید. مقدار شاخص سازگاری (d) نزدیک به 1 است که نشان از سازگاری مقادیر عملکرد دانه و بیوماس در مدل با مقادیر واقعی دارد. براساس مقادیر شاخص‌های آماری فوق و حدود بهینه مشخص شده برای هر یک از آن‌ها، می‌توان گفت که شبیه‌سازی مدل AquaCrop در رده خوبی ارزیابی می‌شود. از رو این کاربرد مدل در شرایط دیم و آبیاری تکمیلی مناسب است.

ارزیابی عملکرد دانه گندم دیم در مزارع منتخب کشاورزان در سال زراعی 93-1392

دامنه تغییرات عملکرد دانه گندم دیم در مزارع منتخب کشاورزان منطقه هنام در سال زراعی 93-1392 بین 1100 تا 2300 کیلوگرم در هکتار و با میانگین عملکرد دانه 1400 کیلوگرم در هکتار بود (شکل4). همانطور که در شکل 4 نشان داده شده است حدود 80 درصد از عملکردهای واقعی مزارع منتخب، مساوی یا کم‌تر از 1500 کیلوگرم در هکتار است. نتایج پایش زراعی مزارع منتخب نشان داد که نوع مدیریت زراعی نقش مهمی در میزان دانه تولیدی ایفا کرده است. در این بین کشاورز شماره 1 علاوه بر این که از رقم اصلاح شده آذر 2 استفاده نموده است، با به کارگیری برخی از راهکارهای مدیریتی برتر زراعی نظیر: تاریخ کاشت مناسب (دهه اول آبان ماه)، ضدعفونی بذر، استفاده از ردیف‌کار، مبارزه با علف‌های هرز، استفاده مناسب از کود، عملکرد گندم دیم را میزان قابل توجهی (حدود 60 درصد) نسبت به سایر کشاورزان ارتقا داده است. در مزارع کشاورزان شماره 2 تا 10 کاشت گندم با رقم محلی سرداری و به صورت دستی بود. در این بین علت افزایش عملکرد گندم در برخی از مزارع (مزارع شمارع 2 الی 4) به دلیل کاربرد محدود برخی از مدیریت‌های برتر زراعی نظیر تاریخ کاشت مناسب، استفاده مناسب از کود و مبارزه با علف‌های هرز بود.



شکل 4- عملکرد دانه گندم دیم در مزارع منتخب در سال زراعی 93-92 (شماره مزارع در جدول 4 تعریف شده است)

ارائه سناریوهای برتر مدیریتی به منظور ارتقاء عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل واسنجی شده AquaCrop

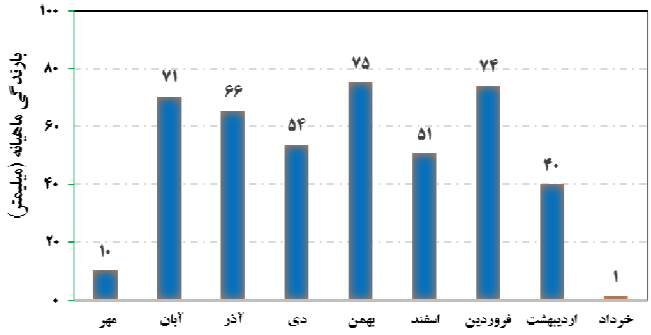
در زراعت گندم دیم، تاریخ کاشت اهمیت زیادی دارد و کشاورزان سعی دارند تا قبل از وقوع اولین بارندگی مؤثر پاییزه اقدام به کشت گندم نمایند. از آنجا که برای سبز شدن بذر گندم دیم در اوایل فصل حداقل به 25 میلی‌متر بارندگی مؤثر در یک دوره 10 روزه نیاز می‌باشد (طلیعی و بهرامی، 1382). بررسی متوسط میزان بارندگی ماهیانه ایستگاه هواشناسی شهرستان الشتر طی سال‌های زراعی 77-1376 الی 94-1393 (شکل 5) نشان داد که دهه اول آبان محدوده مناسب برای کاشت گندم دیم در منطقه هنام الشتر است، به‌طوریکه تاریخ کاشت دیرتر از 10 آبان سبب از دست رفتن فرصت استفاده از بخشی از بارش مؤثر می‌شود. در این زمینه تحقیقات انجام شده در نقاط مختلف دنیا بیانگر آنست که تأخیر در کاشت گندم دیم بعد از زمان مناسب بر اساس بارش فصل زراعی به طور چشمگیری عملکرد دانه را کاهش می‌دهد (Batten and Khan., 1987; Tavakoli and oweis., 2004; Jin et al., 2014)

برای تخمین تاریخ مناسب کاشت، مدل AquaCrop به ازاء تاریخ کاشت‌های متفاوت در محدوده دهه اول آبان اجرا گردید. در شکل 6 عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی شده توسط مدل به ازاء تاریخ کشت‌های متفاوت و در شرایط مدیریت برتر زراعی (استفاده از رقم

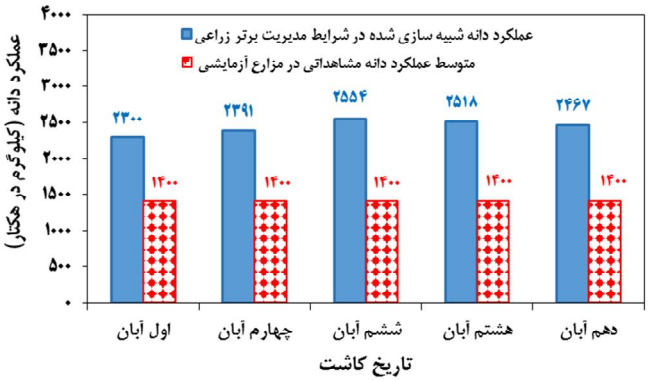
Archive of SID

www.SID.ir

اصلاح شده آذر 2، کاشت با ردیف‌کار و با تراکم بذر 350 دانه در متر مربع، مدیریت مصرف کود مطابق با توصیه کودی و آزمون خاک و ....) با متوسط عملکرد دانه مزارع آزمایشی در سال زراعی 93-1392 مورد مقایسه قرار گرفته است. نتایج بیانگر آن است که با اعمال مدیریت مناسب زراعی و با تاریخ کاشت مناسب می‌توان عملکرد گندم دیم را در منطقه به‌طور میانگین تا 75 درصد نسبت به متوسط عملکرد گندم دیم مزارع منتخب کشاورزان (1400 کیلوگرم در هکتار) افزایش داد (شکل 6).



شکل 5- متوسط بارندگی ماهیانه در منطقه الشتر از سال زراعی 77-1376 لغایت 93-1392



شکل 6- مقایسه عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی شده توسط مدل به ازا تاریخ کشت‌های متفاوت و در شرایط مدیریت برتر زراعی با متوسط عملکرد دانه مزارع منتخب کشاورزان در سال زراعی 93-1392

نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop (بر اساس داده‌های زراعی برگرفته شده از مزرعه شماره 1 متوسط مشخصات فیزیکی خاک مزارع منتخب کشاورزان و هم‌چنین شرایط اقلیمی سال زراعی 93-1392) نشان می‌دهد که با تغییر تاریخ کاشت از اول آبان تا ششم آبان عملکرد دانه گندم دیم به میزان 11 درصد افزایش می‌یابد. هم‌چنین تاخیر تاریخ کاشت از 6 به 10 آبان سبب کاهش عملکرد دانه می‌گردد. هر چند این کاهش عملکرد ناچیز و در حدود 3 درصد است. بنابراین بر اساس شرایط اقلیمی سال زراعی 93-1392 تاریخ کاشت مناسب گندم دیم در منطقه هنام ششم الی دهم آبان ماه است.

برای بررسی تأثیر عمق و زمان تک آبیاری بهاره بر عملکرد گندم دیم، مدل واسنجی شده AquaCrop به ازاء 3 عمق آبیاری50، 60 و 70 میلی‌متر، 3 زمان: ابتدای دوره گل‌دهی، وسط دوره گل‌دهی و انتهای دوره گل‌دهی (به ترتیب 192، 198 و 204 روز پس از کاشت بر اساس شرایط اقلیمی سال زراعی 93-1392) و هم‌چنین دو تاریخ کاشت اول و دهم آبان اجرا گردید. در جدول 7 مقادیر عملکرد، بیوماس و شاخص بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET}) شبیه‌سازی شده گندم دیم به ازاء سناریوهای مختلف مدیریتی تک آبیاری بهاره ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که با اعمال تک آبیاری بهاره، متوسط عملکرد گندم دیم منطقه هنام (در شرایط تاریخ کاشت مناسب و مدیریت برتر زراعی) به طور متوسط به میزان 140 درصد نسبت به متوسط عملکرد گندم دیم مزارع منتخب کشاورزان در سال زراعی 93-1392 (1400 کیلوگرم در هکتار) افزایش می‌یابد.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 7- تأثیر سناریوهای پیشنهادی (خروجی مدل AquaCrop) تک آبیاری بهاره بر عملکرد، بیوماس و بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET})

تاریخ کاشت پیشنهادی	عمق آبیاری پیشنهادی	روز پس از کاشت	عملکرد دانه (kg/ha)	بیوماس (kg/ha)	WP_{ET} (kg/ha)
		192	3216	8200	0/81
	50 میلی‌متر	198	3158	8075	0/80
		204	3130	7996	0/79
		192	3318	8357	0/83
اول آبان	60 میلی‌متر	198	3269	8247	0/81
		204	3229	8149	0/81
		192	3318	8357	0/83
	70 میلی‌متر	198	3269	8247	0/81
		204	3229	8149	0/81
		192	3376	8620	0/88
	50 میلی‌متر	198	3414	8585	0/89
		204	3433	8437	0/88
		192	3497	8793	0/9
دهم آبان	60 میلی‌متر	198	3530	8750	0/91
		204	3451	8591	0/9
		192	3497	8793	0/9
	70 میلی‌متر	198	3530	8750	0/91
		204	3451	8591	0/9

درباره علت اثر بخشی تک آبیاری بهاره در منطقه هنام در بالادست حوضه کرخه می‌توان چنین بیان کرد؛ در اردیبهشت ماه و پس از اتمام بارندگی‌های مؤثر بهاره، گندم دیم وارد مرحله حساس گل‌دهی می‌گردد. در این مرحله شدت تبخیر-تعرق افزایش پیدا می-کند، رطوبت ذخیره شده در خاک نیز متناسب با رشد محصول و میزان تبخیر-تعرق تخلیه می‌گردد و به خاطر عدم کفایت باران، تنش رطوبتی ممکن است شدت پیدا کند. در این شرایط انجام یک نوبت آبیاری در مرحله حساس گل‌دهی، می‌تواند با یک ذخیره رطوبتی مناسب از افت شدید محصول در مرحله زایشی گندم جلوگیری کند. افزایش قابل ملاحظه عملکرد دانه گندم دیم در اثر یک نوبت آبیاری توسط محققین دیگر نیز گزارش شده است (Oweis and Hachum., 2004 ؛ Tavakoli et al., 2012 ؛ تاتاری و همکاران، 1391).

بررسی سناریوهای خروجی مدل شبیه‌سازی AquaCrop (جدول 7) بیانگر آن است که با تغییر تاریخ کاشت از اول به دهم آبان مقادیر عملکرد دانه، بیوماس و شاخص WP_{ET} گندم به طور میانگین به میزان 7، 6 و 11 درصد افزایش پیدا کرده‌اند. آزمون آماری آنالیز یک‌طرفه با استفاده از نرم افزار SPSS در دو تاریخ کاشت نشان داد که صفات مورد بررسی در سطح 1 درصد با هم اختلاف معنی‌دار دارند. بر اساس جدول 7 می‌توان گفت که میانه دوره گل‌دهی (198 روز پس از کاشت بر اساس شرایط اقلیمی سال زراعی 93-1392)، مناسب‌ترین زمان تک آبیاری بهاره به ازاء عمق‌های متفاوت آبیاری است. هم‌چنین نتایج نشان داد که با تغییر عمق آبیاری از 50 به 60 میلی‌متر مقادیر عملکرد دانه، بیوماس و شاخص بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET}) گندم به ترتیب به میزان 3، 2 و 2 درصد (به طور میانگین به ازاء دو تاریخ کاشت متفاوت) افزایش یافته است. لیکن با افزایش عمق آبیاری از 60 به 70 میلی‌متر هیچگونه افزایشی در پارامترهای فوق مشاهده نگردید. با توجه به اینکه افزایش عمق آبیاری از 50 به 60 میلی‌متر افزایش قابل ملاحظه‌ای را در عملکرد دانه، بیوماس و شاخص بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET}) گندم ایجاد نکرده است (آزمون آماری آنالیز یک‌طرفه با استفاده از نرم افزار SPSS نشان داد که تأثیر عمق آبیاری بر عملکرد و بهره‌وری آب گندم معنی‌دار نیست)، لذا به نظر می‌رسد که عمق مناسب تک آبیاری بهاره برای گندم دیم در منطقه هنام الشتر برابر 50 میلی‌متر است.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که مدل AquaCrop به خوبی عملکرد دانه و بیوماس محصول را در شرایط دیم و تک آبیاری مدل-سازی کرده‌است. به‌طوری که در مرحله صحت‌سنجی برای عملکرد دانه و میزان بیوماس شاخص RMSE به ترتیب برابر 0/16 و 0/32

Archive of SID

www.SID.ir

تن در هکتار، شاخص NRMSE به ترتیب 5 و 4 درصد بدست آمد. برای هر دو پارامتر فوق، مقدار ضریب تعیین برابر 0/86، شاخص‌های سازگاری (d) و نش- ساتکلیف (NSE) نزدیک به 1 حاصل گردید. نتایج شبیه‌سازی مدل نشان داد که بر اساس شرایط اقلیمی سال زراعی 93-1392 بهترین تاریخ کاشت گندم دیم در منطقه هنام بین 6 تا 10 آبان ماه است. نتایج شبیه‌سازی مدل نشان داد که با به‌کارگیری مدیریت‌های برتر زراعی و آبی (شامل تاریخ کاشت مناسب و اعمال تک آبیاری بهاره)، عملکرد گندم دیم در منطقه هنام به طور متوسط به میزان 140 درصد افزایش می‌یابد. بررسی نتایج بیانگر آن است که با تغییر تاریخ کاشت از اول آبان به دهم آبان مقادیر عملکرد دانه، بیوماس و شاخص بهره‌وری آب مصرفی (WP_{ET}) گندم به طور میانگین به میزان 7، 6 و 11 درصد افزایش پیدا کرده‌اند. همچنین نتایج نشان داد که عمق مناسب آبیاری برای تک آبیاری بهاره 50 میلی‌متر و زمان اعمال آن نیز میانه دوره گل‌دهی (198 روز پس از کاشت) است.

منابع

تاتاری،م.، ملک احمدی،م.، عباسی علی کمر،ر. 1391. اثر آبیاری تکمیلی بر رشد و عملکرد گندم دیم. نشریه پژوهش‌های زراعی ایران. 10. 2 :448-455

توکلی،ع.ر.، لیاقت،ع.، علیزاده،ا.، اشرفی،ش.، اویس،ذ و پارسی نژاد،م. 1389. بهبود بهره‌وری بارش در تولید گندم دیم با اعمال گزاره‌های بهبود در سطح مزارع زارعین در منطقه سردسیر بالادست حوضه کرخه. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. 2. 4 :297-307.

خلیلی،ن.، داوری،ک.، عیزاده،ا.، کافی،م و انصاری،ح. 1393. شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل گیاهی آکواکراپ، مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سیساب، خراسان شمالی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 28. 5 :930-939.

سپهوند،م. 1390. مطالعات نیمه‌تفصیلی خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی حوضه هنام الشتر (استان لرستان). گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات خاک و آب. 53 صفحه.

طلیعی،ع.ا و بهرامی،ن. 1382. بررسی تأثیر بارندگی و درجه حرارت بر عملکرد گندم دیم در استان کرمانشاه. مجله علوم آب و خاک، 17. 1 :106-112.

Andarzian,B., Bannayan,M., Steduto,P., Mazraeh,H., Barati,M.E., Barati,M.A and Rahnama,A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. Agricultural Water Management. 100.1: 1-8.

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

Batten,G.H and Khan,M.A. 1987. Effect of time of sowing on grain yield, nutrient uptake of wheat with contrasting phenology. Australian Journal of Experimental Agriculture. 27(6):881 – 887.

Doorenbos,J and Kassam,A.H. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage. Paper 33. FAO, Rome.

Farahani,H and Oweis,T. 2008. Chapter I- Agricultural Water Productivity in Karkheh River Basin. In: Oweis,T., Farahani,H., Qadir,M., Anthofer,J., Siadat,H., Abbasi,F and Bruggeman,A. (Eds). Improving On-farm Agricultural Water Productivity in the Karkheh River Basin. Research Report no. 1: A Compendium of Review Papers. ICARDA, Aleppo, Syria. IV+103 pp.

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

Garcia-Vila,M., Fereres,E., Mateos,L., Orgaz,F and Steduto,F. 2009. Deficit irrigation optimization of Cotton with AquaCrop. Agronomy Journal. 101: 477-487.

Geerts,S., Raes,D., Garcia,M., Miranda,R., Cusicanqui,J.A., Taboada,C., Mendoza,J., Huanaca,R., Mamani,A., Condori,O., Mamani,J., Morales,B., Osco,V and Steduto,P. 2009. Simulating Yield Response to Water of Quinoa (Chenopodium Quinoa Willd.) With FAO-Aquacrop. Agronomy Journal. 101: 499–508.

Hanks,R.J. 1983. Yield and Water-Use Relationships. In:Lange,O.L., Kappen,L and Schulze,E.D. (Eds.) Ecological Studies. Analysis and Synthesis. Water and Plant Life. Springer-Verlag. Berlin19: 281-305.

Heng,L.K., Evett,S.R., Howell,T.A and Hsiao,T.C. 2009. Calibration and testing of FAO aquacrop model for rainfed and irrigated maize. Agronomy Journal. 101:488–498.

Jin,X.l., Feng,H.k., Zhu,X.k., Li,Z.h., Song,S.n. Song, X.Y. Yang, G.J. Xu, X.G. and Guo, W.S. 2014. Assessment of the AquaCrop Model for Use in Simulation of Irrigated Winter Wheat Canopy Cover, Biomass, and Grain Yield in the North China Plain. PLoS ONE 9(1), Published online 2014 Jan 28. doi:10.1371/journal.pone.0086938

Mkhabela,M.S and Bullock,P.R. 2012. Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. Agricultural Water Management. 110: 16–24

Archive of SID

www.SID.ir

Tavakkoli,A.R and Oweis,T. 2004. The role of supplemental irrigation and nitrogen in producing bread wheat in the highlands of Iran. Agricultural Water Management. 65:225-236.

Tavakoli,A., Liaghat,A., Oweis,T and Alizadeh,A . 2012. The role of limited irrigation and advanced magement on improving water productivity of rainfed wheat at semi-cold region of upper Karkheh River Basin, Iran. International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 4.14:939-948.

Tavakoli,A.R., Oweis,T., Ashrafi,Sh., Asadi,H., Siadat,H and Liaghat,A. 2010. Improving rainwater productivity with supplemental irrigation in upper Karkheh river basin of Iran. International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (ICARDA). Aleppo. Syria. 123pp

Willmott.C.J. 1982. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. Bulletin of the American Meteorological Society 63: 1309–1313.

Zeleke,K.T., David,L., Raymond,C. 2011. Calibration and testing of the FAO AquaCrop Model for Canola. Agronomy Journal. 103:1610–1618.

Zhang,W., Liu,W., Xue,Q., Chen,J and Han,X. 2013.Evaluation of the AquaCropmodel for simulation yield response of winter wheat to water on the southern Loess Plateau of China. Water science and technology.68 .4: 821-829.

Nash,J.E., Sutcliffe,J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part 1: A discussion of principles. Journal of Hydrology. 10:282–290.

Oweis,T and Hachum,A. 2004. Water harvesting and supplemental irrigation for improved water productivity fordry farming systems in West Asia and North Africa. ICARDA. Aleppo. Syria for Presentation at the 4th International Crop Science Congress 26 Sept. to 1 Oct

Raes, D. 2012. The ETo calculator, evapotranspiration from a reference surface. Reference Manual. Version 3.2. FAO. FAO, via delle Terme di Caracalla, 00153 Rome, Italy.

Rinaldy,M., Losavio,N and Flagella.Z. 2003. Evaluation of OILCROP-SUN model for sunflower in southern Italy. Agricultural Systems. 78: 17-30.

Sam-Amoah,L.K.,. Darko,R.O and Owusu-Sekyere,J.D. 2013. Calibration and validation of Aquacrop full and deficit irrigation of hot peper. Journal of Agricultural and Biological Science. 8.2: 175-178.

Saxton,K.E and. Rawls,W.J. 2006. Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. http://www.ars.usda.gov/ba/anri/hrsl/ksaxton

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. Agronomy Journal. 101:426–437

Archive of SID

www.SID.ir

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 4, Vol. 10, Sept.-Oct. 2016, p. 466-478

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 4، جلد 10، مهر - آبان 1395، ص. 478-466

Simulation of Wheat Yield under Rainfed and Supplemental Irrigation and Presentation of Superior Management Scenarios in Upper Karkheh Basin

M.M. Nakhjavanimoghaddam[1], B. Ghahraman*[2], K. Davary[3], A. Alizadeh[4], H. Dehghanisanij[5], A.R. Tavakoli[6]
Recived: Jan.31, 2016 Accepted: Jun.06, 2016

Abtract

The objective of this study was to calibrate and validate the AquaCrop (Ver. 4.0) model for wheat (variety, Azar2) under rainfed and supplemental Irrigation and definition of the best management scenario in order to enhance yield and WP of rainfed wheat in upper Karkheh basin. The model was calibrated using Matlab software and data collected in research farms in 2005-2006, also the model was validated using data collected in 2006-2007. The on-farm trials included three irrigation treatments (rainfed, single irrigation only at planting time, single irrigation only in spring). The result showed that the model was able to accurately simulate grain yield and biomass of wheat under rainfed and single Irrigation. For grain yield and biomass, RMSE, NRMSE, D-Index and NSE and R2 were obtained equal to (0.16 ton/ ha, 5%, 0.99, 0.99 and 0.86), (0.32 ton/ ha, 4%, 0.99, 0.99 and 0.86) respectively. The result shows that the suitable sowing date in Honam region is between Oct.28 to Nov.2 in 2013-2014. The results indicated by changing sowing dates from Oct.23 to Nov.2, the simulated grain, biomass and the WP were increased up to 7, 6 and 11%, respectively. The results showed that in Honam region the proper depth and time of single irrigation in spring is 50 millimeters and the middle of flowering stage (198 days after planting time), respectively.

Keywords: AquaCrop model, Calibration, Honam Single irrigation, Validation

Archive of SID

1- PhD student, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad and Academic member of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
2- Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad
3- Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad
4- Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad
5- Associate Professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI)
6- Assistant professor of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: bijangh@um.ac.ir)

www.SID.ir