

واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop در مدیریت آبیاری غلات مهم

هادی رضانی اعتدالی^{1*}، عبدالمجید لیاقت²، مسعود پارسی نژاد³، علیرضا توکلی⁴

تاریخ دریافت: 1395/2/8 تاریخ پذیرش: 1395/5/24

چکیده

با توجه به کمبود منابع آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، اعمال کم آبیاری یکی از مهمترین مدیریت‌ها به منظور دسترسی به بیشترین تولید است. در سال‌های اخیر مدل‌های گیاهی متعددی برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاهان در شرایط مختلف زراعی و آبیاری ارائه شده است. مدل AquaCrop یک مدل فراگیر است که توسط فائو برای محدوده وسیعی از محصولات زراعی ارائه شده است. در این تحقیق توانایی دو نسخه 3,1 و 5 مدل AquaCrop در مدیریت کم آبیاری برای غلات مهم (گندم، جو و ذرت دانه‌ای) در حوضه رودخانه شور بررسی شده است. نسخه 3,1 تنش شوری را در نظر نمی‌گیرد. در ابتدا لازم است که مدل واسنجی شود. واسنجی پارامترهای گیاهی مانند عمق توسعه ریشه، حداکثر پوشش گیاهی و طول دوره‌های مختلف رشد از جمله مهمترین پارامترها در مرحله واسنجی است. پس از واسنجی اقدام به اعتبارسنجی مدل شد. نتایج شاخص‌های ارزیابی نسخه 3,1 مدل AquaCrop شامل RMSE و EF به ترتیب 286/6 کیلوگرم بر هکتار و 0/91 برای گندم، 233/9 کیلوگرم بر هکتار و 0/94 برای جو، 444/4 کیلوگرم بر هکتار و 0/98 برای ذرت در سال 1379 و 796/3 کیلوگرم بر هکتار و 0/95 برای ذرت در سال 1380 بود. مقادیر RMSE به ترتیب 265/0، 198/1، 430/8 و 780/4 کیلوگرم بر هکتار و مقادیر EF به ترتیب 0/94، 0/96، 0/98 و 0/99 برای گندم، جو، ذرت در سال 1379 و ذرت در سال 1380 برای نسخه 5 مدل AquaCrop بود. نتایج نشان می‌دهد نسخه 5 مدل به دلیل در نظر گرفتن تنش شوری، دقت بیشتری دارد. بنابراین پیشنهاد می‌شود هنگامی که منابع آب و خاک شوری بالایی دارند و یا گیاه حساسیت بالاتری به شوری دارد از نسخه 5 مدل AquaCrop است.

واژه‌های کلیدی: گندم، جو، ذرت دانه‌ای، مدل‌های گیاهی، کم آبیاری.

مقدمه

توجهی ایجاد شده است (Hoffman et al., 1992). نظر به این که اثرات کمبود آب در شدت، مدت و زمان اعمال متفاوت است، مدل سازی واکنش محصول به کمبود آب بسیار پیچیده است (Vaux and Pruitt, 1983; Bradford and Hsiao, 1982; Hsiao et al., 1976). تلاش برای مدل سازی زراعی از اواخر دهه 1960 شروع شد (Brouwer and De Wit, 1969). تلاش‌های بعدی منجر به توسعه مدل‌های پیشرفته‌تر مانند مدل CERES (Jones and Kiniry, 1986)، مدل EPIC (Williams et al., 1989) و مشتقش ALMANAC (Kiniry et al., 1992)، CropSyst (Stockle et al., 2003)، مدل‌های Wageningen (Van Ittersum et al., 2003) و مدل APSIM (Keating et al., 2003) گردید. بیشتر این مدل‌ها دقیق بوده و استفاده از آن‌ها مستلزم مهارت زیاد کاربر در واسنجی و تغییر پارامترهای ورودی است (علیزاده و همکاران، 1389). مدل زمان بندی آبیاری CROPWAT (Smith, 1992) یکی از نرم افزارهای توسعه یافته بر اساس نشریه فائو 33 (Doorenbos and Kassam, 1979) است که می‌تواند کم آبیاری را شبیه سازی می‌کند. فائو مدل کامل تری را در سال 2009 به این منظور ارائه داده است. مدل AquaCrop برای شبیه سازی واکنش محصولات زراعی

چالش عمده بشر، لزوم افزایش تولیدات کشاورزی به علت افزایش جمعیت است. این مشکل در کشورهای مانند ایران که با محدودیت منابع آب مواجه هستند شدیدتر می‌باشد. از این رو تغییراتی اساسی در مدیریت آبیاری برای بهبود بهره‌وری مصرف آب ضروری است. کم آبیاری شیوه‌ای است که در آن افزایش بهره‌وری مصرف آب به وسیله کاهش مصرف آب آبیاری حاصل می‌شود (رضانی اعتدالی و همکاران، 1388). مدیریت کم آبیاری به منظور دسترسی به بیشترین مقدار سود، نیاز به دانستن تعداد زیادی از فاکتورهای فیزیکی، بیولوژیکی و اقتصادی مؤثر در تولید محصول دارد. طی سی سال گذشته، در تدوین و ارائه مدل‌های رشد گیاهی پیشرفت قابل

- 1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)
 - 2- استاد گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
 - 3- دانشیار گروه آبیاری و آبادانی، دانشگاه تهران
 - 4- عضو هیات علمی (استادیار پژوهش) موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
- * - نویسنده مسئول: (Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)

دانشکده کشاورزی کرج و با تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش بلینی-کریدل و باران موثر به روش SCS محاسبه گردید. برای تیمارهای 110، 100، 90، 80 و 70 دور آبیاری 7 روز، برای تیمارهای 60، 50 و 40 دور آبیاری 14 روز و برای تیمارهای 30، 20 و 10 دور آبیاری 21 روزه بکار برده شد (جدول 2). آبیاری با استفاده از یک لوله و ریختن آب درون کرت انجام شد. حجم آب با یک کنتور حجمی اندازه‌گیری شد.

مطالعات فرهادی بانسوله (1377) بر روی جو و شامل 11 تیمار با 3 تکرار و در قالب 33 کرت آزمایشی هریک به مساحت (3×3) مترمربع بود. تیمارها شامل 100، 90، 80، 70، 60، 50، 40، 30، 20 و 10 درصد نیاز آبی گیاه (به ترتیب تیمارهای T100، T90، T80، T70، T60، T50، T40، T30، T20، T10) و تیمار دیم با دو آبیاری در زمان کاشت (10 آبان) و اولین آبیاری بهاره (20 فروردین) قبل از اعمال تنش بود (T0). تعیین نیاز آبی و روش آبیاری در این تحقیق نیز مشابه با مطالعه گلکار (1377) است. برای تمام تیمارها از دور آبیاری 7 استفاده شد (جدول 3). واریته‌های کشت شده برای جو و گندم به ترتیب والفجر و قدس بوده است. برای کاشت جو و گندم به ترتیب 120 و 150 کیلوگرم در هکتار بذر استفاده شده است. تاریخ کشت جو 10 آبان و گندم 15 آبان بوده و در تمام تیمارهای هر دو محصول آبیاری پس از کاشت و اولین آبیاری بهاره در 20 فروردین صورت گرفته است.

میرلطیفی و ستوده‌نیا (1381) بر روی ذرت در دو سال 1379 و 1380 صورت گرفته است. این مطالعه شامل 4 تیمار و با 4 تکرار و به مساحت (10×5) مترمربع برای هر کرت صورت گرفته بود. در هر کدام از تیمارها اجازه داده شد که 40، 50، 60 و 80 درصد آب قابل دسترس (حداقل بین ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم) توسط گیاه مصرف شود و سپس آبیاری انجام گردید (به ترتیب تیمارهای T40، T50، T60 و T80). البته تمام تیمارها تا زمان چهار برگ شدن (سال اول 4 آبیاری و سال دوم 3 آبیاری اول) به صورت یکسان آبیاری شدند (جدول 3). رقم کشت شده ذرت سینگل کراس 704 بوده و در سال اول در 5 خرداد و در سال دوم در 11 تیر کشت شده-اند. فاصله شیارها 70 سانتیمتر و فاصله گیاهان روی پشته 20 سانتیمتر بود. آبیاری به صورت جوی و پشته‌ای انجام شده است.

ورودی‌های مدل AquaCrop شامل چهار دسته داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه است. داده‌های اقلیمی شامل دمای ماکزیمم و مینیمم، تبخیر و تعرق پتانسیل (ET_o) و بارندگی است (Raes, 2009). از آمار ایستگاه هواشناسی مزرعه دانشکده کشاورزی کرج برای گندم و جو و آمار ایستگاه سینوپتیک قزوین برای ذرت استفاده شد.

به مقدار آب مصرفی و مدیریت آبیاری توسعه داده شد (Raes et al., 2009; Steduto et al., 2009). تحقیقات متعددی برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop برای ذرت (ضیایی و همکاران، 1393؛ رحیمی خوب و همکاران، 1393؛ ابراهیمی و همکاران، 1394؛ حسن‌لی و همکاران، 1394؛ Heng et al., 2009; Hsiao et al., 2009; Abedinpour et al., 2012)، گندم (علیزاده و همکاران، 1389؛ خلیلی و همکاران، 1393؛ محمدی و همکاران، 1394؛ Steduto et al., 2009; Andarzania et al., 2011; Salemi et al., 2011; Mkhabela and Bullock, 2012; Kumar, et al., 2014؛ جو (Araya et al., 2010)، کتان (Farahani et al., 2009; García-Vila et al., 2009) و دیگر محصولات مهم زراعی انجام شده است. بنابراین بررسی مطالعات مختلف نشان می‌دهد که مدل به واسنجی و اعتبارسنجی دقیق و گسترده برای همه گونه‌های گیاهی در سراسر دنیا نیاز دارد. علاوه بر تفاوت شرایط اقلیمی، خاک، رقم و واریته‌های گیاهی، مدیریت‌های آبیاری و زراعی اثر معنی‌داری بر واسنجی و اعتبارسنجی کامل دارند. پارامترهای گیاهی مانند عمق توسعه ریشه، مراحل رشد، پوشش تاجی و دیگر پارامترهای گیاهی مدل، در شرایط مختلف زراعی و به خصوص در تیمارهای مختلف آبیاری مقادیر متفاوتی خواهند داشت. همچنین تفاوت بین نسخه‌های 1، 3 و 5 مدل AquaCrop موضوعی است که در مطالعات گذشته کمتر به آن توجه شده است. بنابراین هدف از این مطالعه واسنجی و اعتبارسنجی نسخه‌های 1، 3 و 5 مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد غلات مهم (گندم، جو و ذرت دانه‌ای) در حوضه رودخانه شور (بخش اعظم استان‌های البرز و قزوین) در شرایط تیمارهای مختلف آبیاری از طریق مقایسه نتایج مدل با نتایج مطالعات مزرعه‌ای است.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop از مطالعات گلکار (1377) برای گندم، فرهادی بانسوله (1377) برای جو و میرلطیفی و ستوده‌نیا (1381) برای ذرت استفاده شد. برخی از اطلاعات این مطالعات در جدول (1) ارائه شده است. مطالعات گلکار (1377) و فرهادی بانسوله (1377) بر روی دو گیاه گندم و جو در سال زراعی 1377-1376 صورت گرفته است. مطالعات گلکار (1377) شامل 12 تیمار با 3 تکرار و در قالب 36 کرت آزمایشی هریک به مساحت (3×3) مترمربع بود. تیمارها شامل 110، 100، 90، 80، 70، 60، 50، 40، 30، 20 و 10 درصد نیاز آبی گیاه (به ترتیب تیمارهای T100، T110، T90، T80، T70، T60، T50، T40، T30، T20 و T10) و تیمار دیم با دو آبیاری در زمان کاشت (15 آبان) و اولین آبیاری بهاره (20 فروردین) قبل از اعمال تنش بود (T0). نیاز آبی گیاه با استفاده از داده‌های تاریخی 38 ساله ایستگاه هواشناسی مزرعه

جدول 1- برخی از مشخصات مطالعات مزرعه‌ای

گیاه	محل انجام آزمایش	طول جغرافیایی عرض جغرافیایی بافت خاک	$\theta_{F.C.}$ (%)	$\theta_{P.W.P}$ (%)	EC_e (dS/m)
گندم و جو	مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی کرج دانشگاه تهران	35° 48' N 51° E	لومی	32/2	5/3
ذرت دانه‌ای	مزرعه تحقیقاتی اسماعیل آباد جهاد کشاورزی استان قزوین	36° 15' N 49° 55' E	لومی	24	0/93

جدول 2- برنامه‌ریزی آبیاری برای گندم برای 12 تیمار مختلف تامین آب (گلکار، 1377)

زمان آبیاری	T0 (mm)	T10 (mm)	T20 (mm)	T30 (mm)	T40 (mm)	T50 (mm)	T60 (mm)	T70 (mm)	T80 (mm)	T90 (mm)	T100 (mm)	T110 (mm)
15 آبان	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
20 فروردین	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
27 فروردین	-	-	-	-	-	-	-	27	31	35	39	43
3 اردیبهشت	-	-	-	-	33	40	49	30	34	39	43	47
10 اردیبهشت	-	13	26	38	-	-	-	37	43	48	53	58
17 اردیبهشت	-	-	-	-	40	51	61	35	40	45	50	55
24 اردیبهشت	-	-	-	-	-	-	-	30	34	39	43	48
31 اردیبهشت	-	13	25	38	32	40	49	27	30	34	38	42
7 خرداد	-	-	-	-	-	-	-	32	37	41	46	51
14 خرداد	-	-	-	-	31	39	47	23	27	30	34	37
مجموع	54	80	105	130	190	225	260	295	330	365	400	435

جدول 3- برنامه‌ریزی آبیاری برای جو برای 11 تیمار مختلف تامین آب (فرهادی بانسوله، 1377)

زمان آبیاری	T0 (mm)	T10 (mm)	T20 (mm)	T30 (mm)	T40 (mm)	T50 (mm)	T60 (mm)	T70 (mm)	T80 (mm)	T90 (mm)	T100 (mm)
10 آبان	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
20 فروردین	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21	21
27 فروردین	-	3	6	9	12	16	19	22	25	21	31
3 اردیبهشت	-	2	5	7	9	12	14	16	18	21	23
10 اردیبهشت	-	2	5	7	9	12	14	16	19	21	24
17 اردیبهشت	-	4	8	11	15	19	23	27	30	32	38
24 اردیبهشت	-	4	7	11	14	18	21	25	28	34	35
31 اردیبهشت	-	4	8	11	15	19	23	27	30	32	38
7 خرداد	-	-	-	-	14	18	21	25	28	39	35
14 خرداد	-	-	-	-	-	-	-	31	35	28	44
مجموع	51	70	89	108	141	163	185	238	265	292	319

جدول 4- برنامه‌ریزی آبیاری برای ذرت برای تیمارهای مختلف تامین آب در دو سال 1379 و 1380 (میرلطیفی و ستوده‌نیا، 1381)

1379								1380							
T40		T50		T60		T80		T40		T50		T60		T80	
عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ
50	3/6	50	3/6	50	3/6	50	3/6	50	4/11	50	4/11	50	4/11	50	4/11
50	3/11	50	3/11	50	3/11	50	3/11	50	4/18	50	4/18	50	4/18	50	4/18
50	3/19	50	3/19	50	3/19	50	3/19	50	4/25	50	4/25	50	4/25	50	4/25
50	3/28	50	3/28	50	3/28	50	3/28	50	5/2	14	5/7	12	5/10	29	5/14
38	4/4	25	4/8	32	4/15	31	4/15	31	5/10	17	5/14	20	5/22	25	6/11
21	4/11	27	4/16	61	4/22	67	4/22	67	5/21	26	5/23	31	5/30	12	7/1
14	4/16	58	4/22	57	5/8	71	5/11	71	5/25	10	5/30	20	6/4	23	7/19
46	4/22	53	5/1	73	5/24	63	5/28	63	5/30	28	6/4	18	6/11	32	8/9
50	5/1	59	5/16	83	6/15	71	6/15	71	6/4	30	6/14	35	6/24	44	-
43	5/8	70	5/28	-	-	-	-	-	6/11	36	6/24	22	7/5	31	-
61	5/16	63	6/8	-	-	-	-	-	6/17	30	7/1	21	7/19	57	-
48	5/24	75	6/22	-	-	-	-	-	6/24	43	7/5	20	8/9	48	-
61	6/1	-	-	-	-	-	-	-	7/1	48	7/19	23	-	-	-
60	6/8	-	-	-	-	-	-	-	7/11	49	8/9	13	-	-	-
75	6/22	-	-	-	-	-	-	-	7/19	35	-	-	-	-	-
46	6/29	-	-	-	-	-	-	-	8/9	51	-	-	-	-	-
مجموع	763	630	506	503	567	385	451	328							

واسنجی مدل‌های گیاهی نسبت به یکی از تیمارها صورت می‌گیرد و پس از واسنجی، اعتبار مدل نسبت به تیمارهای دیگر سنجیده می‌شود. در جدول (5) اطلاعات گیاهی واسنجی شده آورده شده است.

جدول 5- پارامترهای گیاهی مربوط به برخی غلات

گیاه	گندم	جو	ذرت
جوانه‌زنی	17	17	6
گل‌دهی	175	175	66
حداکثر پوشش گیاهی	191	191	54
شروع پیری پوشش گیاهی	201	201	107
رسیدگی فیزیولوژیکی	235	235	132
حداکثر عمق توسعه ریشه	97	97	108
طول دوره گلدهی (روز)	13	13	13
ماکزیم عمق ریشه (cm)	100	100	230
پوشش گیاهی اولیه (درصد)	3/37	3/13	0/49
حداکثر پوشش گیاهی (درصد)	80	80	90

پس از واسنجی برای اعتبارسنجی مدل، اقدام به شبیه‌سازی عملکرد غلات تحت تیمارهای مختلف آبیاری با شد. نتایج این شبیه‌سازی عملکرد با دو نسخه 3,1 و 5 مدل AquaCrop در مقایسه با نتایج واقعی عملکرد در مرحله اعتبارسنجی در جدول (6) آورده شده است. نتایج شبیه‌سازی عملکرد در هر سه محصول نشان می‌دهد که استفاده از نسخه 5 مدل AquaCrop که شوری را لحاظ می‌کند دقت را بالا می‌برد (جدول 7). میزان بهبود در شبیه‌سازی عملکرد گندم و جو نسبت به ذرت بیشتر است. به علت شوری بیشتر کرت‌های آزمایشی گندم و جو نسبت به ذرت (جدول 1)، تنش شوری در این دو محصول بیشتر بوده است. بنابراین با در نظر گرفتن تنش شوری با استفاده از نسخه 5 مدل AquaCrop است. بنابراین با در نظر گرفتن تنش شوری با استفاده از نسخه 5 مدل AquaCrop دقت در شبیه‌سازی عملکرد بهبود یافته است.

در مورد شبیه‌سازی عملکرد گندم با استفاده از نسخه 3,1 و 5 مدل AquaCrop، کمترین خطای نسبی حدود 0/2 درصد و در تیمار T90 مشاهده می‌شود. بیشترین خطای نسبی نیز با استفاده از نسخه‌های 3,1 و 5 در تخمین عملکرد به ترتیب با 14/2 و 19/6 درصد در تیمارهای T0 و T60 است. همچنین به‌طور میانگین میزان خطای نسبی نسخه 3,1 و 5 مدل AquaCrop در تخمین عملکرد به ترتیب حدود 5/3 و 3/9 درصد است. بیشترین کاهش در میانگین خطاهای نسبی در برآورد عملکرد محصولات با نسخه 5 مدل AquaCrop نسبت به نسخه 3,1 مربوط به گندم است. مزارع گندم و جو دارای شوری بیشتری نسبت به مزارع ذرت بودند و به علت حساسیت بیشتر گندم به شوری در مقایسه با جو، لحاظ نمودن تنش شوری با استفاده

واسنجی پارامترهای گیاهی مهمترین بخش مرحله واسنجی است. این پارامترها در شرایط مختلف مدیریت زراعی و آبیاری متفاوت است. بنابراین در مرحله واسنجی از تمامی تیمارها، دو تکرار برای واسنجی و از بقیه تکرارها برای اعتبارسنجی استفاده شد. همچنین برای ذرت فقط واسنجی نسبت به دو تکرار از تیمارهای سال 1379 انجام شد. برای بررسی تاثیر شوری در مرحله اعتبارسنجی پارامترهای گیاهی از دو نسخه 3,1 و 5 مدل AquaCrop انجام شد. نسخه 3,1 مدل شوری را لحاظ نمی‌کند ولی نسخه 5 شوری را در نظر می‌گیرد.

شاخص‌های آماری برای بررسی نتایج مدل‌ها عبارتند از:

- درصد خطای نسبی (RE)

$$RE = \frac{(P_i - Q_i) * 100}{Q_i} \quad (1)$$

- ریشه دوم میانگین مجذور خطاها (RMSE)

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{n} \right]^{1/2} \quad (2)$$

- کارایی مدل سازی (EF)

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 - \sum_{i=1}^n (P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (3)$$

که در آنها P_i مقادیر پیش‌بینی شده، Q_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد نمونه‌های به کار رفته، \bar{Q} مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد. حداقل مقدار RE ، ME و $RMSE$ صفر و حداکثر مقدار EF برابر با یک می‌باشد. مقدار زیاد ME نشانگر بدترین حالت کارکرد مدل است. شاخص EF ، مقادیر پیش‌بینی شده را با میانگین اندازه‌گیری شده مقایسه می‌کند. مقدار منفی EF بیانگر آن است که مقادیر اندازه‌گیری شده، بیشتر از مقادیر پیش‌بینی شده بوده است. چنانچه تمامی مقادیر پیش‌بینی و اندازه‌گیری شده با هم برابر شوند، مقدار عددی شاخص‌های RE و $RMSE$ برابر با صفر و مقدار EF برابر با یک خواهد بود (Homaei et al., 2002).

نتایج و بحث

برای استفاده از مدل‌های گیاهی، واسنجی مدل در هر منطقه ضروری است. با توجه به آن که در اغلب مطالعات مزرعه‌ای اندازه‌گیری تمامی پارامترهای گیاهی میسر نیست لذا در این مطالعه سعی شد برخی از مهمترین پارامترهای گیاهی برای غلات مهم منطقه واسنجی شود. واسنجی بر اساس تمامی تیمارهای آبی صورت گرفت. به عبارت دیگر واسنجی طوری صورت گرفت که پارامترهای واسنجی شده در تیمارهای مختلف آبیاری از دقت کافی برخوردار باشد. معمولاً

AquaCrop مشخص است و علت آن لحاظ نکردن اثر تنش شوری در لین نسخه است. با افزایش کم آبیاری، اثر شوری تشدید پیدا می کند و این امر در مدل نادیده گرفته شده است. این موضوع در مورد جو که گیاه مقاوم تری در مقایسه با گندم نسبت به شوری است، ملایم تر است. یعنی نتایج مدل برای جو با نتایج مزرعه هم خوانی بیشتری دارد. کاهش دقت مدل Cropwat و AquaCrop 3.1 با کاهش آب مصرفی به دلیل در نظر نگرفتن تنش شوری توسط رضانی اعتدالی و همکاران (1388) و علیزاده و همکاران (1389) گزارش شده است. دقت نسخه 5 مدل AquaCrop در تیمارهای کم آبیاری از نسخه 3,1 بیشتر است. هرچند که این موضوع در تمام تیمارهای کم آبیاری دیده نشد.

در مورد ذرت نیز کمترین و بیشترین خطای نسبی در برآورد عملکرد با استفاده از نسخه 3,1 مدل AquaCrop به ترتیب با 1/9 و 11/9 درصد در تیمارها T80 و T40 در سال 1380 مشاهده شد. همچنین آن چه در مورد ذرت قابل توجه است این است که با کاهش آب مصرفی دقت مدل بیشتر شده است. قابل ذکر است که در مطالعه ذرت تیمارهای کم آبیاری متفاوت با تیمارهای کم آبیاری گندم و جو است. در ذرت در تیمار T80 میزان کم آبیاری بیشتر از T40 است. به دلیل شوری کم در کرت های ذرت، تفاوت چندانی بین نسخه 3,1 و 5 در برآورد عملکرد مشاهده نمی شود. در مجموع کارایی مدل در مورد ذرت نیز قابل قبول است.

از نسخه 5 مدل، دقت شبیه سازی عملکرد گندم بهبود یافته است. همچنین کارایی مدل سازی در برآورد عملکرد گندم با نسخه 3,1 و 5 به ترتیب برابر 0/91 و 0/92 است که قابل قبول به نظر می رسد. رضانی اعتدالی و همکاران (1388) کارایی مدل Cropwat را حدود 0/58 و 0/15- برای گندم در دور آبیاری 7 و 14 روز و علیزاده و همکاران (1389) نیز کارایی نسخه 3,1 مدل AquaCrop را 0/98 و 0/76 را برای دور آبیاری 7 و 14 روز بیان نمودند. حداکثر خطای نسبی برای پیش بینی عملکرد گندم توسط مدل Cropwat حدود 25 درصد (رضانی اعتدالی و همکاران، 1388) و توسط مدل AquaCrop حدود 27 درصد (علیزاده و همکاران، 1389) گزارش شده است.

کمترین خطای نسبی در برآورد عملکرد جو با استفاده از نسخه های 3,1 و 5 مدل AquaCrop، به ترتیب 0/1 و 0/2 درصد در تیمارهای T60 است. بیشترین خطای نسبی نیز به ترتیب با 15/2 و 8/7 درصد در تیمار T10 مشاهده می شود. در مورد جو نیز رضانی اعتدالی و همکاران (1388) بیشترین خطای نسبی را 22/5 درصد گزارش کرده است. همچنین کارایی مدل Cropwat در پیش بینی عملکرد جو به ترتیب 0/72 و 0/08- برای دورهای آبیاری 7 و 14 روز گزارش شده است. در این مطالعه کارایی نسخه های 3,1 و 5 مدل AquaCrop در برآورد عملکرد جو به ترتیب 0/94 و 0/95 است. کاهش دقت مدل در پیش بینی عملکرد گندم و جو با کاهش میزان مصرف آب آبیاری به خصوص با استفاده از نسخه 3,1 مدل

جدول 6- مقادیر عملکرد اندازه گیری شده و شبیه سازی شده برای غلات برحسب کیلوگرم بر هکتار

T0	T10	T20	T30	T40	T50	T60	T70	T80	T90	T100	T110	تیمارهای آبیاری
3074	3174	3641	4229	4852	5171	4818	5307	5638	5628	5859	5532	اندازه گیری
2765	3473	4026	4367	4979	5276	5501	5611	5616	5616	5627	5616	گندم شبیه سازی با AquaCrop 3.1
2473	3190	3753	4208	4847	5164	5409	5543	5601	5614	5625	5615	شبیه سازی با AquaCrop 5
3296	3405	4515	4958	5132	5108	5526	5957	5828	6032	6184	-	اندازه گیری
3308	3923	4289	4566	4964	5305	5522	5914	5989	6010	6004	-	جو شبیه سازی با AquaCrop 3.1
3151	3702	4251	4532	4937	5219	5516	5909	5986	6010	6004	-	شبیه سازی با AquaCrop 5
-	-	-	-	11339	10648	5046	-	5089	-	-	-	اندازه گیری
-	-	-	-	12157	10476	5280	-	5280	-	-	-	ذرت 1379 شبیه سازی با AquaCrop 3.1
-	-	-	-	12155	10473	5255	-	5137	-	-	-	شبیه سازی با AquaCrop 5
-	-	-	-	12624	6181	6319	-	2359	-	-	-	اندازه گیری
-	-	-	-	11124	5798	6690	-	2313	-	-	-	ذرت 1380 شبیه سازی با AquaCrop 3.1
-	-	-	-	1121	5784	6442	-	2294	-	-	-	شبیه سازی با AquaCrop 5

جدول 7- شاخص‌های آماری محاسبه شده برای غلات مختلف

تیمارها	گندم AquaCrop3.1 RE (%)	گندم AquaCrop5 RE (%)	جو AquaCrop3.1 RE (%)	جو AquaCrop5 RE (%)	ذرت 1379 AquaCrop3.1 RE (%)	ذرت 1379 AquaCrop5 RE (%)	ذرت 1380 AquaCrop3.1 RE (%)	ذرت 1380 AquaCrop5 RE (%)
T110	1/5	1/5	-	-	-	-	-	-
T100	-4/0	-4/0	2/9	2/9	-	-	-	-
T90	-0/2	-0/2	0/4	0/4	-	-	-	-
T80	-0/4	-0/7	-2/8	-2/7	-3/8	-0/9	1/9	2/8
T70	-5/7	-4/4	0/7	0/8	-	-	-	-
T60	14/2	12/3	0/1	0/2	-4/6	-4/1	5/9	1/9
T50	2/0	0/1	-3/9	-2/2	1/6	1/6	6/2	6/4
T40	2/6	0/1	3/3	3/8	-7/2	-7/2	11/9	11/9
T30	3/3	0/5	7/9	8/6	-	-	-	-
T20	10/6	3/1	5/0	5/8	-	-	-	-
T10	9/4	0/5	-15/2	-8/7	-	-	-	-
T0	-10/1	-19/6	-0/4	-4/4	-	-	-	-
RE _{avg} (%)	5/3	3/9	3/9	3/7	4/3	3/5	6/5	5/8
RMSE(Kg/ha)	286/6	265/0	233/9	198/1	444/4	430/8	796/3	780/4
EF	0/91	0/92	0/94	0/95	0/98	0/98	0/95	0/96
R ²	0/92	0/94	0/93	0/96	0/99	0/99	0/97	0/98

نتیجه گیری

در این تحقیق توانایی نسخه‌های 3,1 و 5 مدل AquaCrop در مدیریت کم‌آبیاری برای گندم، جو و ذرت بررسی شده است. پس از واسنجی مدل AquaCrop و برآورد پارامترهای گیاهی اقدام به اعتبارسنجی دو نسخه 3,1 و 5 مدل شد. میزان RMSE در مرحله اعتبارسنجی نسخه‌های 3,1 و 5 مدل AquaCrop به ترتیب 286/6 و 265/0 کیلوگرم بر هکتار بود. نتایج شاخص RMSE برای جو به ترتیب 233/9 و 198/1 کیلوگرم بر هکتار و برای ذرت در سال 1379، 444/4 و 430/8 کیلوگرم بر هکتار و برای ذرت در سال 1380، 796/3 و 780/4 کیلوگرم بر هکتار به ترتیب برای نسخه‌های 3,1 و 5 مدل AquaCrop بود. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که هر دو نسخه 3,1 و 5 مدل AquaCrop از دقت کافی در شبیه‌سازی عملکرد در تیمارهای مختلف کم‌آبیاری برخوردارند. هرچند که نسخه 5 به دلیل در نظر گرفتن تنش شوری، دقت بیشتری دارد. این موضوع به خصوص در هنگامی که منابع آب و خاک شوری بالایی دارند و یا گیاه به شوری حساس است آشکارتر است. همچنین به دلیل تغییرات پارامترهای گیاهی مانند عمق توسعه ریشه، طول مراحل رشد، پوشش تاجی و دیگر پارامترهای گیاهی در تیمارهای مختلف آبیاری واسنجی مدل نسبت به همه تیمارهای آبیاری می‌تواند در بهبود شبیه‌سازی مدل‌های گیاهی تاثیر به سزایی داشته باشد.

منابع

- ابراهیمی، م.، وردی‌نژاد، و.، مجنونی هریس، ا. (1394). شبیه‌سازی رشد ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آب و نیتروژن با مدل AquaCrop. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. 207: (2)46.
- حسن‌لی، م.، افراسیاب، پ.، ابراهیمیان، ح. (1394). ارزیابی مدل‌های AquaCrop و SALTMED در تخمین عملکرد محصول ذرت و شوری خاک. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. 487: (3)46.
- خلیلی، ن.، داوری، ک.، علیزاده، ا.، کافی، م.، و انصاری، ح. (1393). شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم با استفاده از مدل گیاهی آکواکراپ، مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات کشاورزی دیم سیسب، خراسان شمالی. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 28(5): 939-930.
- رحیمی خوب، ح.، ستوده‌نیا، ع.، و مساح بوانی، ع.ر. (1393). واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop برای ذرت علوفه‌ای منطقه قزوین. مجله آبیاری و زهکشی ایران. 108-115: (1)8.
- رضانی اعتدالی، ه.، نظری ب.، توکلی، ع. ر. و پارس‌نژاد، م. (1388). ارزیابی مدل Cropwat در مدیریت کم‌آبیاری گندم و جو در منطقه کرج. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 23(1):

- O.L. Lange et al. (ed.) Physiological plant ecology. II. Water relations and carbon assimilation. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series. Vol. 12B. Springer-Verlag, New York.
- Brouwer, R., and De Wit, C.T. (1969). A simulation model of plant growth with special attention to root growth and its consequences. p. 224–244.
- Doorenbos, J., and Kassam, A.H. (1979). Yield response to water. Irrigation And Drainage Paper no. 33. FAO, Rome.
- 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.
- García-Vila M, Fereres, E., Mateos, L., and Steduto, P. (2009). Deficit irrigation optimization of cotton with AquaCrop. *Agronomy Journal*. 101:477–487.
- Heng, L.K., Evett, S.R. Howell, T.A., and Hsiao, T.C. (2009). Calibration and testing of FAO AquaCrop model for maize in several locations. *Agronomy Journal*. 101: 488–498.
- Hoffman G.J., Howell, T.A., and Solomon, K.H. (1992). Management of Farm Irrigation.
- Homaee, M., Dirksen C., and Feddes, R.A. (2002). Simulation of Root Water Uptake. I. Nonuniform Transient Salinity Stress Using Different Macroscopic Reduction Functions. *Journal of Agriculture Water Management*. 57(2): 89-109.
- Hsiao, T.C., Fereres, F., Acevedo, E., and Henderson, D.W. (1976). Water stress and dynamics of growth and yield of crop plants. p. 281–305. In O. L. Lange, L. Kappen, and E. D. Schulze (ed.) *Ecological Studies. Analysis and Synthesis. Water and Plant Life*. Vol. 19. Springer-Verlag, Berlin.
- Hsiao, T.C., Heng, L.K., Steduto, P., Raes, D., and Fereres, F. (2009). AquaCrop— Model parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*. 101:448–459.
- Jones, J.W. and Kiniry, J.R. (1986). CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M Univ. Press, College Station.
- Keating, B.A., P.S. Carberry, G.L. Hammer, M.E. Probert, M.J. Robertson, D. Holzworth, N.I. Huth, J.N.G. Hargreaves, H. Meinke, Z. Hochman, G. McLean, K. Verburg, V. Snow, J.P. Dimes, M. Silburn, E. Wang, S. Brown, K.L. Bristow, S. Asseng, S. Chapman, R.L. McCown, D.M. Freebairn and C.J. Smith. (2003). An overview of APSIM; a model designed for farming systems simulation. *European Journal Agronomy*. 18:267–288.
- Kiniry, J.R., Williams, J.R., Gassman, P.W., and Debaeke, P. (1992). A general, process-oriented model for two competing plant species. *Trans.*
- ضیایی، غ، بابازاده، ح، عباسی، ف، و کاوه، ف. (1393). بررسی عملکرد مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize در برآورد اجزای بیلان آب خاک و عملکرد ذرت. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*. 45(4): 445-435.
- علیزاده ح، نظری ب، پارسی‌نژاد م، رضانی اعتدالی ه. و جانباز ح. ر. (1389). ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم آبیاری گندم و جو در منطقه کرج. *مجله آبیاری و زهکشی ایران*. 2(4): 273-283.
- فرهادی بانسوله ب. (1377). بررسی اثرات کم آبیاری بر روی عملکرد محصول جو در منطقه کرج و تعیین تابع تولید. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران. ص 120.
- گلکار ح. ر. (1377). تعیین تابع تولید محصول گندم و مطالعه اثر تنش آبی بر عملکرد در منطقه کرج. پایان نامه کارشناسی ارشد. گروه آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران. ص 122.
- محمدی، م، قهرمان، ب، داوری، ک، انصاری، ح، و شهیدی، ع. (1394). اعتبار سنجی مدل AquaCrop به منظور شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب گندم زمستانه تحت شرایط همزمان تنش شوری و خشکی. *مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. 129(1): 67-84.
- میرلطیفی س. م. و ستوده‌نیا ع. (1381). شبیه‌سازی تاثیر کم آبیاری بر عملکرد محصول ذرت. گزارش نهایی طرح تحقیقات کاربردی معاونت پژوهشی سازمان مدیریت منابع آب ایران وزارت نیرو. ص 221.
- Abedinpour, M., Sarangi, A., Rajput, T.B.S., Singh, M.H., Pathak, H., and Ahmad, T. (2012). Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 110, 55-66.
- Andarziana B., Bannayanb M., Steduto P., Mazraeha 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: 1-8.
- Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A., and 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.
- Bradford, K.J., and Hsiao, T.C. (1982). Physiological responses to moderate water stress. p. 263–324. In

- Smith, M. (1992). CROPWAT-a computer program for irrigation planning and management. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 46. FAO, Rome.
- 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.
- Stockle, C.O., Donatelli, M., and Nelson, R. (2003). CropSyst, a cropping systems simulation model. *European Journal Agronomy*. 18: 289–307.
- Van Ittersum, M.K., Leffelaar, P.A., Van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans, L., and Goudriaan, J. (2003). On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European Journal Agronomy*. 18: 201–234.
- Vaux, H.J., and Pruitt, W.O. (1983). Crop-water production functions. *Adv. Irrig*. 2:61–97.
- Williams, J.R., Jones, C.A., and Dyke, P.T. (1989). EPIC—Erosion/productivity impact calculator. 1. The EPIC model. USDA-ARS, Temple, TX.
- ASAE. 35:801–810.
- Kumar, P., Sarangi, A., Singh, D. K., and Parihar, S. S. (2014). Evaluation of AquaCrop model in predicting wheat yield and water productivity under irrigated saline regimes. *Irrigation and Drainage*. 63, 474–487.
- 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.
- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C., and Fereres, E. (2009). AquaCrop-The FAO crop model for predicting yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*. 101:438–447.
- Salemi H., Mohd Soom, M.A., Lee, T.S., and Mousavi, S.F., Ganji, A., and KamilYusoff, M. (2011). Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of Winter wheat in arid region. *African Journal of Agricultural Research*. 610: 2204-2215.

Archive of SID

AquaCrop Model Calibration and Evaluation in Irrigation Management for Main Grains

H. Ramezani Etedali^{1*}, A. Liaghat², M. Parsinejad³, A.R. Tavakkoli⁴

Received: Apr.27, 2016

Accepted: Sep.14, 2016

Abstract

Due to water resources shortage, especially in arid and semiarid region, deficit irrigation is one of main managements for achieving maximum production. In recent years, many crop models are developed for simulation of crop growth and yield in various fields and irrigation managements. These models can simulate crop growth and crop yield. AquaCrop model is a pervasive model and is developed by FAO that can be used in growth simulating and modeling of many crops. In this study, Capability of the AquaCrop 3.1 and 5 in deficit irrigation management of important grains (wheat, barley and corn) in Shoor river basin has been investigated. At the first the model should be calibrated. Calibration of crop parameters such as rootzone depth, maximum canopy and periods of each growing cycle are main crop parameters that must be calibrated. Then, the calibrated model has been validated. RMSE and EF indexes were obtained 286.6 Kg/ha and 0.91 Kg/ha for wheat, 233.9 Kg/ha and 0.94 for barely, 444.4 Kg/ha and 0.98 (for the 2000 year data) and 796.3 Kg/ha and 0.95 for corn (for the 2001 year data), respectively by Aquacrop 3.1. RMSE indexes were 265.0, 198.1, 430.8 and 780.4 and EF indexes were 0.94, 0.96, 0.99 and 0.98 for wheat, barely, corn for the 2000 and 2001 year data, respectively by AquaCrop 5. These results show AquaCrop 5 have more accuracy due to salinity consideration. So AquaCrop 5 is suggested when there is salinity in soil and water resources or crop is sensitive to salinity.

Keywords: Wheat, Barley, Corn, Crop model, Deficit irrigation

1- Assistant Professor, Department. of Water Engineering, Imam Khomeini International University

2- Professor, Department. of Irrigation and Reclamation, University of Tehran

3- Associate Professor, Department. of Irrigation and Reclamation, University of Tehran

4- Assistant professor of Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

(* - Corresponding Author Email: Ramezani@eng.ikiu.ac.ir)