نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 3، جلد 10، مرداد - شهریور 1395، ص. 397-389

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 10, Jul.-Agu. 2016, p. 389-397

واسنجی و اعتبارسنجی مدل AquaCrop در مدیریت آبیاری غلات مهم

هادی رمضانی اعتدالی[1*]، عبدالمجید لیاقت[2]، مسعود پارسی‌نژاد[3]، علیرضا توکلی[4]

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

چکیده

با توجه به کمبود منابع آب به خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، اعمال کم آبیاری یکی از مهمترین مدیریت‌ها به‌منظور 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 کم‌آبیاری 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 مهترین 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 به‌ترتیب 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 به‌ترتیب 265/0، 198/1، 430/8 و 780/4 کیلوگرم بر هکتار و مقادیر EF به‌ترتیب 0/94، 0/96، 0/99 و 0/98 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، کم‌آبیاری.

مقدمه

چالش عمده بشر، لزوم افزایش تولیدات کشاورزی به علت افزایش جمعیت است. این مشکل در کشورهایی 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 (رمضانی اعتدالی و همکاران، 1388). مدیریت کم آبیاری به‌منظور 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 توجهی ایجاد شده است (Hoffman et al., 1992). نظر به این‌که اثرات کمبود آب در شدت، مدت و زمان اعمال متفاوت است، مدل‌سازی واکنش محصول به کمبود آب بسیار پیچیده است (Vaux and Pruitt, 1983; Bradford and Hsiao, 1982; Hsiao et al., 1976). تلاش برای مدل‌سازی 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 زمان‌بندی آبیاری CROPWAT (Smith, 1992) یکی از نرم افزارهای توسعه یافته بر اساس نشریه فائو 33 (Doorenbos and Kassam, 1979) است که می‌تواند کم‌آبیاری را شبیه‌سازی می‌کند. فائو مدل کامل‌تری را در سال 2009 به این منظور ارائه داده است. مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی واکنش محصولات زراعی

1- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی 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)

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؛ Hsiao et al., 2009; Heng et al., 2009; Abedinpour et al., 2012)، گندم (علیزاده و همکاران، 1389؛ خلیلی و همکاران، 1393؛ محمدی و همکاران، 1394؛ Steduto et al. 2009; Andarznia 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 3,1 و 5 مدل AquaCrop موضوعی است که در مطالعات گذشته کمتر به آن توجه شده است. بنابراین هدف از این مطالعه واسنجی و اعتبارسنجی نسخه های 3,1 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 T110، T100، 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 دانشکده کشاورزی کرج و با تعیین تبخیروتعرق 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، ۳۰،۲۰ و 10 درصد نیاز آبی گیاه (به ترتیب تیمارهای T100، T90، T80 ، T70، T60، T50، T40، T30، T20 و 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 شده‌است. 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 (حدفاصل 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 برگی 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 شده‌اند. 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.

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	51° E	35 ° 48'N	لومی	32/2	16/1	5/3
ذرت دانه‌ای	مزرعه تحقیقاتی اسماعیل آباد جهاد کشاورزی استان قزوین	49 ° 55'E	36 ° 15'N	لومی	24	12	0/93

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

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

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

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

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	
تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق	تاریخ	عمق
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	29
4/4	38	4/8	25	4/15	32	4/15	31	5/10	17	5/14	20	5/22	25	6/11	29
4/11	21	4/16	27	4/22	61	4/22	67	5/21	26	5/23	31	5/30	12	7/1	43
4/16	14	4/22	58	5/8	57	5/11	71	5/25	10	5/30	20	6/4	23	7/19	43
4/22	46	5/1	53	5/24	73	5/28	63	5/30	28	6/4	18	6/11	32	8/9	34
5/1	50	5/16	59	6/15	83	6/15	71	6/4	30	6/14	35	6/24	44	-	-
5/8	43	5/28	70	-	-	-	-	6/11	36	6/24	22	7/5	31	-	-
5/16	61	6/8	63	-	-	-	-	6/17	30	7/1	21	7/19	57	-	-
5/24	48	6/22	75	-	-	-	-	6/24	43	7/5	20	8/9	48	-	-
6/1	61	-	-	-	-	-	-	7/1	48	7/19	23	-	-	-	-
6/8	60	-	-	-	-	-	-	7/11	49	8/9	13	-	-	-	-
6/22	75	-	-	-	-	-	-	7/19	35	-	-	-	-	-	-
6/29	46	-	-	-	-	-	-	8/9	51	-	-	-	-	-	-
مجموع	763		630		506		503		567		385		451		328

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 در نظر می‌گیرد.

شاخص‌های آماری برای بررسی نتایج مدل‌ها عبارتند از:

- درصد خطای نسبی (RE)

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

- 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 مدل‌سازی (EF)

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

که در آنها P_i مقادیر پیش‌بینی شده، Q_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد نمونه‌های به کار رفته، $\overline{Q}$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد.حداقل مقدار ME، RE 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 اندازه‌گیری‌شده 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 ME، RE و RMSE برابر با صفر و مقدار EF برابر با یک خواهد بود (Homaee et al., 2002).

نتایج و بحث

برای استفاده از مدل‌های گیاهی، واسنجی مدل در هر منطقه ضروری است. با توجه به آن‌که 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. معمولا 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
روز پس از کاشت	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
	ماکزیمم 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 می کند 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 T60 و T0 است. همچنین به‌طور میانگین میزان خطای نسبی نسخه 3,1 و 5 مدل AquaCrop در تخمین عملکرد به‌ترتیب 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

از نسخه 5 مدل، دقت شبیه‌سازی عملکرد گندم بهبود یافته است. همچنین کارآیی مدل‌سازی در برآورد عملکرد گندم با نسخه 3,1 و 5 به ترتیب برابر 0/91 و 0/92 است که قابل قبول به نظر می‌رسد. رمضانی 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 پیش‌بینی عملکرد گندم توسط مدل Cropwat حدود 25 درصد (رمضانی 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 نسخه‌های 3,1 و 5 مدل AquaCrop، به‌ترتیب 0/1 و 0/2 درصد در تیمارهای T60 است. بیشترین خطای نسبی نیز به‌ترتیب با 15/2 و 8/7 درصد در تیمار T10 مشاهده می‌شود. در مورد جو نیز رمضانی اعتدالی و همکاران (1388) بیشترین خطای نسبی را 22/5 درصد گزارش کرده است. همچنین کارایی مدل Cropwat در پیش‌بینی عملکرد جو به‌ترتیب 0/72 و 0/08- برای دورهای آبیاری 7 و 14 روز گزارش شده است. در این مطالعه کارایی نسخه‌های 3,1 و 5 مدل AquaCrop در برآورد عملکرد جو به‌ترتیب 0/94 و 0/95 است.

کاهش دقت مدل در پیش‌بینی عملکرد گندم و جو با کاهش میزان مصرف آب آبیاری به خصوص با استفاده از نسخه 3,1 مدل AquaCrop مشخص است و علت آن لحاظ نکردن اثر تنش شوری در لین نسخه است. با افزایش کم‌آبیاری، اثر شوری تشدید پیدا می‌کند و این امر در مدل نادیده گرفته شده است. این موضوع در مورد جو که گیاه مقاوم‌تری در مقایسه با گندم نسبت به شوری است، ملایم‌تر است. یعنی نتایج مدل برای جو با نتایج مزرعه همخوانی بیشتری دارد. کاهش دقت مدل Cropwat و AquaCrop 3.1 با کاهش آب مصرفی به دلیل در نظر نگرفتن تنش شوری توسط رمضانی 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 به‌ترتیب با 1/9 و 11/9 درصد در تیمارها T80 و T40 در سال 1380 مشاهده شد. همچنین آن‌چه 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 کرت‌های ذرت، تفاوت چندانی بین نسخه 3,1 و 5 در برآورد عملکرد مشاهده نمی‌شود. در مجموع کارایی مدل در مورد ذرت نیز قابل قبول است.

جدول 6- مقادیر عملکرد اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده برای غلات برحسب کیلوگرم بر هکتار

	تیمارهای آبیاری	T110	T100	T90	T80	T70	T60	T50	T40	T30	T20	T10	T0
گندم	اندازه‌گیری	5532	5859	5628	5638	5307	4818	5171	4852	4229	3641	3174	3074
	شبیه‌سازی با AquaCrop3.1	5616	5627	5616	5616	5611	5501	5276	4979	4367	4026	3473	2765
	شبیه‌سازی با AquaCrop 5	5615	5625	5614	5601	5543	5409	5164	4847	4208	3753	3190	2473
جو	اندازه‌گیری	-	6184	6032	5828	5957	5526	5108	5132	4958	4515	3405	3296
	شبیه‌سازی با AquaCrop3.1	-	6004	6010	5989	5914	5522	5305	4964	4566	4289	3923	3308
	شبیه‌سازی با AquaCrop 5	-	6004	6010	5986	5909	5516	5219	4937	4532	4251	3702	3151
ذرت 1379	اندازه‌گیری	-	-	-	5089	-	5046	10648	11339	-	-	-	-
	شبیه‌سازی با AquaCrop3.1	-	-	-	5280	-	5280	10476	12157	-	-	-	-
	شبیه‌سازی با AquaCrop 5	-	-	-	5137	-	5255	10473	12155	-	-	-	-
ذرت 1380	اندازه‌گیری	-	-	-	2359	-	6319	6181	12624	-	-	-	-
	شبیه‌سازی با AquaCrop3.1	-	-	-	2313	-	6690	5798	11124	-	-	-	-
	شبیه‌سازی با AquaCrop 5	-	-	-	2294	-	6442	5784	1121	-	-	-	-

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

نتیجه‌گیری

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 به‌ترتیب 286/6 و 265/0 کیلوگرم بر هکتار بود. نتایج شاخص RMSE برای جو به‌ترتیب 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 نسخه‌ی 3,1 و 5 مدل AquaCrop از دقت کافی در شبیه‌سازی عملکرد در تیمارهای مختلف کم آبیاری 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). شبیه سازی رشد ذرت تحت مدیریت های مختلف آب و نیتروژن با مدل AquaCrop. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. 46(2): 207-220.

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. 46(3): 487-498.

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

رحیمی خوب، ح.، ستوده‌نیا، ع.، و مساح بوانی، ع.ر. (1393). واسنجی و ارزیابی مدل AquaCrop برای ذرت علوفه ای منطقه قزوین. مجله آبیاری و زهکشی ایران. 8(1): 108-115.

رمضانی اعتدالی ه.، نظری ب.، توکلی، ع. ر. و پارسی‌نژاد، م. (1388). ارزیابی مدل Cropwat در مدیریت کم آبیاری گندم و جو در منطقه کرج. مجله آب وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). 23(1):

.129-119

ضیایی، غ.، بابازاده، ح.، عباسی، ف.، و کاوه، ف. (1393). بررسی عملکرد مدل‌های CERES-Maize و AquaCrop در برآورد اجزای بیلان آب خاک و عملکرد ذرت. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. 45(4): 435-445.

علیزاده ح.، نظری ب.، پارسی‌نژاد م.، رمضانی 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 وخاک (علوم و صنایع کشاورزی). 29(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 O.L. Lange et al. (ed.) Physiological plant ecology. II. Water relations and carbon assimilation. Encyclopedia of Plant Physiology, New Series. Vol. 12B. Sprimger-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. Europen 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.

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. Agron0my Journal. 101: 426–437.

Stockle, C.O., Donatelli, M., and Nelson, R. (2003). CropSyst, a cropping systems simulation model. Europen Journal Agronomy. 18: 289–307.

Van Ittersum, M.K., Leff elaar, P.A., Van Keulen, H., Kropff, M.J., Bastiaans, L., and Goudriaan, J. (2003). On approaches and applications of the Wageningen crop models. Europen 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 soft ware 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.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 10, Jul.-Agu. 2016, p. 389-397

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره 3، جلد 10، مرداد - شهریور 1395، ص. 397-389

AquaCrop Model Calibration and Evaluation in Irrigation Management for Main Grains

H. Ramezani Etedali[1*], A. Liaghat[2], M. Parsinejad[3], A.R. Tavakkoli[4]
Recived: 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 sensetive to salinty.

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)