نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۷، ص. ۴۷۳-۴۶۳

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 3, Jul.-Agu. 2018, p. 463-473

اعتبارسنجی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد گندم متأثر از تعداد نوبت‌های آبیاری

محمدرضا امداد[1*]- آرش تافته[2]- سعید غالبی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۳/۱۳

چکیده

مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد گیاهان در مدیریت‌های مختلف آب و خاک از دقت بالایی برخوردار بوده و استفاده از آن نیازمند واسنجی و اعتبارسنجی می‌باشد. این تحقیق در راستای واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم در سه پایلوت منتخب در منطقه حمیدیه استان خوزستان و در دو سال زراعی اجرا شد. مدل آکواکراپ برای شرایط سال اول واسنجی و سپس سناریوهای مختلف نوبت‌های آبیاری (۳ تا۶ نوبت آبیاری) با هم مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مدل نشان داد که در شرایط معمول منطقه، ۴ نوبت آبیاری مناسب‌ترین سناریوی آبیاری می‌باشد. با استفاده از نتایج حاصله از مدل و در نظر گرفتن ۴ نوبت آبیاری، گندم در سال زراعی دوم به‌منظور اعتبارسنجی مدل کاشته شد. متوسط عملکرد دانه گندم اندازه گیری شده و شبیه‌سازی شده پایلوت‌ها در سال دوم به‌ترتیب ۳/۸ و ۴/۴ تن در هکتارحاصل گردید (با خطای ۱۴ درصد). مقایسه شاخص‌های آماری بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی عملکرد دانه در هر دو سال نشان داد که ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص توافق به‌ترتیب برابر با ۰/۹، ۰/۱۴ و ۰/۸۹ می‌باشند که بیانگر کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی عملکرد گندم در دو سال متوالی می‌باشد. با در نظر گرفتن تعداد ۴ نوبت آبیاری، کارایی مصرف آب دانه گندم به مقدار ۰/۷ کیلوگرم بر متر مکعب افزایش یافته که مؤید کارایی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم و در راستای ارتقای کارایی مصرف آب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری سطحی، دور آبیاری، کارایی مصرف آب، گندم

مقدمه

نظر به اینکه انجام و اجرای تحقیقات در خصوص تأثیر مدیریت های مختلف آبیاری و اثر آن بر عملکرد گیاهان مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد می‌باشد، لذا استفاده از مدل‌های گیاهی، این امکان را فراهم می‌نماید تا با لحاظ نمودن و اندازه‌گیری برخی پارامترهای مرتبط با آب، خاک و گیاه، عملکرد گیاه در شرایط مختلف شبیه‌سازی شود. در این ارتباط واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌ها نقش مهم و تأثیرگذاری در کارایی و دقت آن‌ها در مدیریت‌های مختلف داشته و ضروری است به منظور استفاده مناسب از مدل و تعمیم نتایج آن، صحت نتایج آن با اندازه‌گیری‌های مستقیم میدانی کنترل و ارزیابی شود. در این ارتباط محققان بسیاری در زمینه مدل‌ها و کاربرد آنها در محیط‌های مختلف تحقیق نموده‌اند که حسب شرایط نتایج متفاوتی از کاربرد مدل‌ها و کارایی آنها در شبیه‌سازی عملکرد و سایر صفات دیگرگزارش گردیده است.

نتایج تحقیقات تودورویک و همکاران (۱۲)، برای مقایسه مدل های AquaCrop و WOFOST و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد گیاه آفتابگردان در جنوب ایتالیا نشان داد که مدل AquaCrop به دلیل سادگی و نیاز به داده‌های کمتر نسبت به مدل های دیگر ترجیح دارد. این مدل که نسخه اولیه آن در سال ۲۰۰۷ ارایه شده، مدلی فراگیر بوده به این معنا که برای محدوده‌ای از محصولات مختلف زراعی، روغنی و غده‌ای قابل استفاده است (۱۰). مدل AquaCrop بر مبنی فرآیندهای بیوفیزیکی پیچیده بنا نهاده شده است و قابلیت شبیه‌سازی و پیش‌بینی مواردی از جمله شبیه سازی عملکرد، شبیه‌سازی کارآیی مصرف آب در شرایط مدیریت‌های مختلف آبیاری، شبیه‌سازی عملکرد در شرایط تنش و مدیریت‌های کم آبیاری، شبیه‌سازی عملکرد در شرایط مدیریت‌های مختلف زراعی، خاک و آب در راستای برنامه‌ریزی مناسب بمنظور مدیریت بهتر آبیاری و ارتقاء کارایی مصرف آب را داراست (۱۱).

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب استادیاران و مربی، عضو هیئت علمی، بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: emdadmr591@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jsw.v32i3.70189

مونتیا و همکاران (۹) مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی عملکرد سیب زمینی در اسپانیا ارزیابی نمودند. تیمارهای آبیاری اعمال شده عبارت بودند از تیمار ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی که نتایج آنها نشان داد مدل به خوبی در همه این شرایط برآورد مناسبی را از عملکرد نشان می‌دهد. این نتایج نشان داد بیشترین کارایی مصرف آب در تیمار ۶۰ درصد نیاز آبی روی می‌دهد. تامیا و همکاران (۱۳) مدل AquaCrop را بر روی گیاه گندم در منطقه موراکو بر اساس درجه– روز واسنجی کردند. نتایج نشان داد که مدل می‌تواند مقادیر تبخیر– تعرق را با خطای ۰/۲۲ میلی‌متر بر روز و عملکرد دانه را تا ۰/۰۶ تن در هکتار برآورد کند. از این رو می‌توان از این مدل جهت تعیین عملکرد گیاهان در صورت واسنجی مناسب استفاده نمود. گندوز و همکاران (۵) مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه گندم در الجزیره تحت شرایط تنش آبی مورد ارزیابی قرار دادند. سه مزرعه در سه منطقه متفاوت مورد مطالعه قرار گرفتند و اطلاعات آن‌ها برای مدل تعریف گردید. آزمون تی تست نشان داد تفاوت آماری بین نتایج اندازه‌گیری و مقادیر شبیه‌سازی شده وجود ندارد. بنابراین این مدل را برای شرایط طبیعی مزرعه بسیار مناسب ارزیابی نمودند. کومار و همکاران (۸) مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه گندم در هند تحت شرایط تنش آبی و شوری مورد ارزیابی قرار دادند. در تحقیق آنها از شوری آب ۴/۸ و ۱۲ دسی‌زیمنس استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل با خطای ۰/۸۵ در برآورد عملکرد دانه و ۰/۷ در تخمین ماده خشک تولیدی عملکرد مناسبی داشته است. از این رو برای شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم با دقت بالا پس از واسنجی می توان از آن استفاده نمود. ژانگ و همکاران (۱۴) مدل AquaCrop را بمنظور شبیه‌سازی عملکرد گندم در چین مورد ارزیابی قرار دادند. اطلاعات و داده‌های خاک، آب و دوره‌های رشد گیاهی برای ۷ سال به مدل داده شد. نتایج نشان داد که مدل در تخمین ماده خشک تولیدی بین ۱۶۰ تا ۳۸۰ کیلوگرم در هکتار خطا دارد. همچنین این مدل در تخمین عملکرد دانه بین ۰/۵ تا ۱/۴ تن در هکتار خطا داشت. افشار و نشاط (۲) مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی عملکرد گیاه سیب زمینی در منطقه جیرفت کرمان مورد بررسی قرار دادند. در این ارتباط از سه تیمار آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی استفاده شد. نیاز آبی در این تحقیق بر اساس اطلاعات تشت تبخیر موجود در منطقه تعیین شد. بررسی حساسیت مدل نشان داد که بیشترین حساسیت بر روی زمان پیری برگ‌ها می‌باشد. نتایج آنها نشان داد که مدل در شبیه‌سازی عملکرد سیب زمینی تا ۹ تن خطا نشان می‌دهد. همچنین گزارش کردند که مدل در برآورد کارایی مصرف آب ۱۹/۴ درصد خطا دارد. نتایج بدست آمده نشان داد که مدل برای تخمین عملکرد مناسب نیاز به داده‌های دقیق و زیادی دارد. عابدینپور و همکاران (۱) مدل AquaCrop را برای گیاه ذرت در دهلی‌نو (هند) مورد ارزیابی قرار دادند. در این مطالعه تیمار های تنش ۵۰، ۷۵ و آبیاری کامل به همراه تیمارهای نیتروژن ۰، ۷۵ و ۱۵۰ کیلوگرم بر هکتار اعمال شدند. سپس مدل برای این شرایط اجرا شده و نتایج نشان داد که مدل با ریشه میانگین مربعات خطا حدود ۰/۱ الی ۰/۷۵ و با دقت قابل قبولی عملکرد کل و دانه را شبیه‌سازی می کند. نتایج نشان داد که مدل بین ۰/۵ تا ۵ درصد در برآوردها خطا داشته و کمترین خطا را در تیمار با آبیاری کامل و کود ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار داشته است. همچنین گزارش گردید که مدل در شبیه‌سازی کارایی مصرف آب دارای خطای ۲ تا ۲۷ درصد می‌باشد.

گیرتس و همکاران (۴)، در بخش‌های شمالی، مرکزی و جنوبی منطقه Altiplano بولیوی مدل AquaCrop را برای گیاه بومی quinoa تحت سناریوهای مختلف آبیاری واسنجی کردند. نتایج نشان داد که مدل ابزار ارزشمندی برای بررسی و تأثیر تجمعی مکانیسم‌های تحمل به تنش آبی روی گیاه بومی quinoa دارا می‌باشد. همچنین گزارش گردید که عملکرد محصول با در نظرگیری سناریوهای مختلف آبیاری شبیه‌سازی شده از دقت بالایی برخوردار بوده و کارایی استفاده از مدل در شبیه‌سازی عملکرد مناسب و قابل قبول می‌باشد. اقبال و همکاران (۶)، به منظور بررسی و ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop برای گندم زمستانه، مطالعه‌ای در دشت شمالی چین انجام داد. بطور کلی در اعتبارسنجی مدل، ریشهٔ میانگین مربعات خطا برای عملکرد دانه ۰/۵۸ تن در هکتار، بیوماس ۰/۸۷ تن در هکتار، تبخیر– تعرق واقعی ۳۳/۲ میلی‌متر و رطوبت حجمی خاک ۳۷/۶– ۲۴/۵ میلی‌متر بود. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop مدلی قابل اطمینان جهت شبیه‌سازی تولید و عملکرد در دشت شمالی چین می باشد. خلیلی و همکاران (۷)، شبیه‌سازی عملکرد گندم دیم را با استفاده از مدل AquaCrop در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سیساب خراسان شمالی انجام دادند. نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قابلیت مدل‌سازی عملکرد محصول را در شرایط دیم دارا می‌باشد. ضیائی و همکاران (۱۵)، عملکرد مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize را بمنظور شبیه‌سازی اجزای بیلان آب خاک و عملکرد ذرت در منطقه کرج (بافت لومی) بررسی نمودند. نتایج نشان داد، عملکرد هر دو مدل مناسب بوده است. شاخص RMSE در برآورد عملکرد محصول برای مدل‌های AquaCrop و CERES-Maize به‌ترتیب بین ۲۰ تا۴۰ و ۲۰ تا ۸۰ درصد گزارش شد. با توجه به نتایج خروجی نهایتا مدل AquaCrop برای استفاده کشاورزان و برنامه‌ریزان در سطح منطقه توصیه گردید.

بابازاده و سرائی (۳)، به منظور ارزیابی مدل AquaCrop در منطقه کرج بر روی گیاه سویا در سال زراعی ۱۳۷۸ (خاک لومی) آزمایشی با ۴ تیمار آبیاری کامل، کم آبیاری ۷۵ و ۵۰ درصد کمبود رطوبتی خاک و آبیاری موضعی منطقه ریشه در حد ۵۰ درصد رطوبت اجرا کردند. در همه تیمارها عملکرد محصول، تبخیر– تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب سویا شبیه‌سازی قابل قبولی (با درصد خطای کم)

را ارائه داد (با درصد خطا کمتر از ۴/۶ درصد). ماکزیمم خطا در تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد) ۵/۹۷ گزارش شد.

استان خوزستان با ۸/۸ درصد سهم در سطح برداشت محصولات زراعی، بیشترین سطح برداشت شده را نسبت به استان‌های دیگر به خود اختصاص داده است. همچنین این استان با سهم ۱۲ درصد از تولید گندم کشور در جایگاه نخست تولید این محصول قرار گرفته است.

نظر به اینکه مدل آکواکراپ مدلی با تمرکز بر آبیاری و سناریوهای متفاوت و تأثیرگذار بر آبیاری بوده که بر اساس آن شبیه سازی عملکرد صورت می‌پذیرد لذا صحت و دقت استفاده از این مدل در راستای اعمال سناریوهای متفاوت و تأثیرگذار آبیاری مستلزم کالیبراسیون و اعتبارسنجی این مدل می‌باشد. با توجه به اینکه امکان اعمال سناریوهای اجرایی آبیاری در عملیات میدانی امکان‌پذیر نمی باشد لذا استفاده از این مدل این امکان را فراهم می‌آورد تا پس از واسنجی و صحت‌سنجی بتوان از این مدل در شرایط متفاوت استفاده نمود. با توجه به اینکه تعداد نوبت‌های آبیاری یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر عملکرد می‌باشد و در منطقه مورد مطالعه تعداد نوبت‌های آبیاری (با توجه به تخصیص آب به زارعین) تغییر می‌کند و این موضوع عملکرد گندم را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد، بنابراین این پژوهش با هدف واسنجی و اعتبارسنجی این مدل و در راستای تأثیر تعداد نوبت‌های آبیاری بر عملکرد گندم منطقه (کشت غالب) و ارائه توصیه‌های مدیریتی آبیاری در این ارتباط اجرا و پیاده‌سازی شده است. با توجه به اینکه تعداد نوبت‌های آبیاری نقش مهمی در عملکرد گندم داشته و کارایی مصرف آب در بیشتر مزارع گندمکاری منطقه پایین بوده و نیز قابلیت مدل اکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد گندم با نوبت‌های آبیاری بررسی نشده است، لذا در این مقاله پس از واسنجی مدل، سناریوهای مختلف مدیریتی آبیاری از نظر نوبت‌های آبیاری (با توجه به تعداد آبیاری‌های معمول منطقه حمیدیه خوزستان) بعنوان یک متغیر در نظر گرفته شده و تأثیر نوبت‌های آبیاری بر عملکرد گندم در منطقه حمیدیه بمنظور اعتبارسنجی مدل و ارایه سناریو مناسب مدیریتی آبیاری مورد بررسی و ارزیابی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در استان خوزستان (شهرستان حمیدیه- رامسه) بمدت دو سال زراعی اجرا (۱۳۹۴-۱۳۹۳ و ۱۳۹۵-۱۳۹۴) گردید. در این ارتباط سه قطعه متفاوت به مساحت حدود ۱۰ هکتار در منطقه رامسه حمیدیه انتخاب و نسبت به نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و تعیین پارامترهای خاک، آب، گیاه، مدیریت آبیاری (اطلاعات مورد نیاز مدل آکواکراپ) و شرایط موجود منطقه اقدام گردید. در هر قطعه ۱۰ هکتاری یک مزرعه (جمعا سه مزرعه) به مساحت حدود ۲۰۰۰ متر مربع (عرض نوار ۸ الی۱۰ متر و طول نوار ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر) در قطعات مورد نظر انتخاب و نسبت به برداشت اطلاعات خاک، آب، گیاه و مدیریت آبیاری در مزارع منتخب اقدام گردید. رقم گندم مورد استفاده چمران و تاریخ کاشت گندم در منطقه ۱۵ آبان ماه ۱۳۹۳ بود. کوددهی در دو نوبت در مراحل پنجه‌زنی و گلدهی و در هر کدام از مراحل حدود ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار از کود اوره بود.

جدول ۱- اطلاعات گیاهی گندم در مزارع منتخب

Table 1- Wheat plant information in selected pilots

اطلاعات فیزیولوژی گندم در مراحل رشد Physiological information of wheat	محدوده تغییرات صفات اندازه‌گیری شده Rang of variation
کاشت تا ظهور گیاه Planting to emergence	10-14 days
کاشت تا رسیدن به ماکزیمم پوشش Planting to maximum canopy cover	95-105 days
کاشت تا پیر شدن برگ‌ها Planting to leaf senescence	135-145 days
کاشت تا رسیدن (قابل برداشت شدن) Planting to ripening	160-170 days
کاشت تا رسیدن به ماکزیمم عمق ریشه‌ها Planting to maximum root depth	100-110 days
طول دوره گلدهی Length of Flowering stage	10-14 days
کاشت تا گلدهی Planting to flowering	105-115 days
ماکزیمم عمق ریشه‌ها Maximum root depth	0.3-0.35 m

جدول ۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع منتخب

Table 2- Some chemical and physical soil properties in pilots

عمق Depth (cm)	بافت خاک Soil Texture	PWP (%Θv)	FC (%Θv)	OC (%)	pH	SAR	EC ($dS.m^{-1}$)	Pb ($g.\ cm^{-3}$)
0–30	Clay Loam	19.0	31.9	0.5	7.8	4.3	4.5	1.48
30–60	Clay Loam	23.0	36.4	0.3	7.8	5.1	5.0	1.53

جدول ۳- ویژگی‌های کیفی آب آبیاری در پایلوت‌های منتخب

Table 3- Irrigation water quality in selected pilots

SAR	Na^{+} meq/lit	Mg^{++} meq/lit	Ca^{++} meq/lit	HCO_3^{-} meq/lit	pH	EC dS/m
3.0	8	7.5	7.0	1.7	7.9	1.9

جدول ٤- تعداد و حجم آب آبیاری گندم در مراحل مختلف رشد در پایلوت‌های مورد نظر (سال اول)

Table 4- Number and volume of irrigations in different growth stage (in the first year)

نوبت‌های آبیاری Number of irrigation	1	2	3	4	5
مرحله رشد Growth stage	کاشت Planting	پنجه‌دهی Tillering	ساقه‌دهی Stem elongation	گلدهی Flowering	پر شدن دانه Grain filling
حجم آب آبیاری (m^3/ha) Volume of irrigation water	2000	1800	1800	2000	1900
شوری آب آبیاری (dS/m) Irrigation water salinity	6.5	6.5	6.5	1.9	1.9

درصد جوانه‌زنی، تعداد روز از کاشت بذر تا ظهور، تعداد روز از کاشت تا رسیدن به ماکزیمم پوشش، تعداد روز از کاشت تا پیرشدن برگ‌ها، تعداد روز از کاشت تا رسیدن، طول دوره گلدهی، تعداد روز از کاشت تا گلدهی، ماکزیمم عمق مؤثر ریشه‌ها، تعداد روز از کاشت تا رسیدن به ماکزیمم عمق ریشه‌ها، عملکردکل، عملکرد دانه، شاخص برداشت، اندازه‌گیری عملکرد خشک گیاهی در مزارع منتخب در مراحل مختلف رشد اندازه‌گیری و یاداشت‌برداری شد و بمنظور واسنجی مدل آکواکراپ مورد استفاده واقع شد. نتایج اطلاعات گیاهی اخذ شده در پایلوت‌های مورد نظر در جدول ۱ ارائه شده است.

با توجه به نتایج بدست آمده محدوده زمان جوانه‌زنی، پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، گلدهی، پرشدن دانه و رسیدن گندم در منطقه حمیدیه بترتیب در ۲۷ آبان، ۲۰ آذر، ۲۲ دی، ۲۵ بهمن، ۲۰ اسفند و ۲۵ فروردین ماه سال بعد به وقوع پیوست. جدول ۲ نتایج برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک مزارع منتخب را ارائه می‌کند.

همانگونه از جدول ۳ ملاحظه می‌گردد کیفیت آب آبیاری با میانگین شوری آب ۱/۹ دسی زیمنس بر متر از نظر شوری مناسب می‌باشد. طبق طبقه‌بندی ویلکوکس این آب در کلاس C_3-S_1 (شوری زیاد و نسبت جذبی سدیمی کم) قرار گرفته و محدودیتی برای کاشت گندم و تأثیری بر کاهش عملکرد ایجاد نمی‌کند.

تعداد نوبت‌های آبیاری و متوسط حجم آب آبیاری داده شده به گندم در مراحل مختلف رشد در جدول ۴ ارائه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌گردد در سال اول تعداد ۵ نوبت آبیاری (با حجم کل ۹۵۰۰ متر مکعب در هکتار) در مراحل مختلف در اختیار گیاه قرار گرفته است.

جدول ۵- میانگین عملکرد دانه و کل گندم اندازه‌گیری شده در مزارع

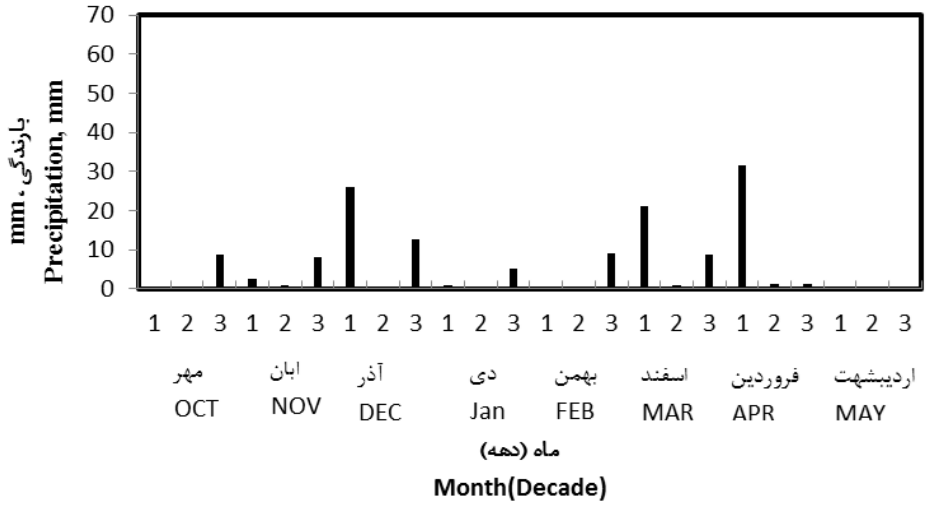
Table 5- Average measured grain and total yield of wheat in the farms

پایلوت‌های منتخب Selected pilots	عملکرد کل Total yield Kg/ha	عملکرد دانه Grain yield Kg/ha	شاخص برداشت HI %
مزرعه 1	7433	3057	0.41
مزرعه 2	8163	3219	0.39
مزرعه 3	6704	2895	0.43
میانگین	7434	3057	0.41

در هر یک از پایلوت‌های منتخب برداشت گندم در سه تکرار و در سطح یک متر مربع در هفته اول اردیبهشت ماه ۱۳۹۴ انجام شد. جدول ۵ متوسط نتایج عملکرد دانه و کل گندم برداشت شده در پایلوت‌های منتخب را در منطقه حمیدیه ارائه می‌نماید.

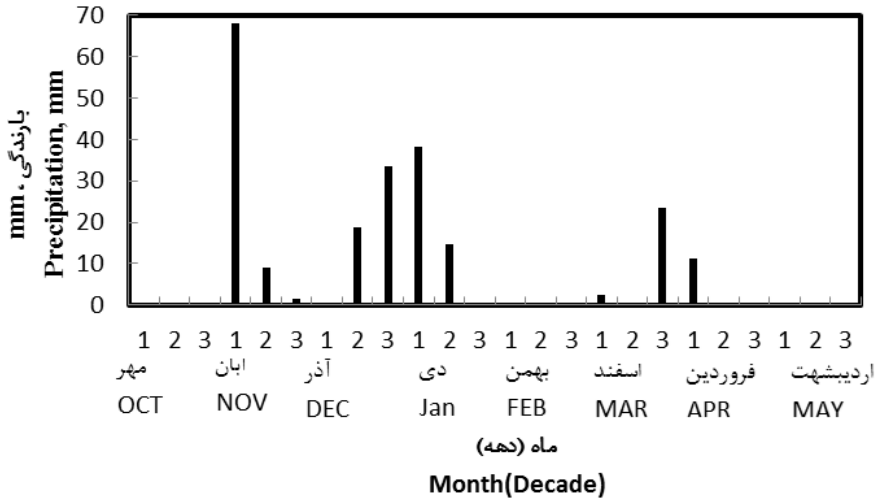
همانگونه که ملاحظه می‌گردد در سال اول متوسط عملکرد دانه گندم حدود ۳ تن در هکتار (با شاخص برداشت ۰/۴۱ درصد) می‌باشد. با توجه به میانگین عملکرد دانه و حجم آب مصرفی در پایلوت‌های مورد نظر، متوسط کارایی مصرف آب در مزارع مورد نظر حدود ۰/۳۳ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب مصرفی می‌باشد.

بمنظور شبیه‌سازی تغییرات عملکرد گندم با نوبت‌های آبیاری و توسط مدل آکواکراپ، اطلاعات و آمار هواشناسی روزانه در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ (شامل درجه حرارت ماکزیمم و مینیمم، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، سرعت باد، ساعات آفتابی) به همراه آمار بارندگی از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اهواز با طول و عرض جغرافیایی به ترتیب ۲۰َ ° ۳۱ و ۴۰َ ° ۴۸ اخذ و مورد پردازش قرار گرفت. شکل ۱ و ۲ تغییرات بارش را به تفکیک ماه‌های مختلف (به صورت دهه) به‌ترتیب برای سال زراعی ۹۴-۹۳ و ۹۵-۹۴ نشان می دهد. مقدار کل بارندگی در بازه زمانی مهر تا اردیبهشت ماه برای سال اول و دوم به ترتیب ۱۳۷/۳ و ۲۲۸ میلی‌متر بوده است.



شکل ۱- توزیع بارندگی در دهه‌های مختلف فصل کشت گندم (۹۴-۹۳)

Figure 1- Distribution of rainfall for different decades of wheat (2014-2015)



شکل ۲- توزیع بارندگی در دهه‌های مختلف فصل کشت گندم (۹۵-۹۴)

Figure 2- Distribution of rainfall for different decades of wheat (2015-2016)

در این ارتباط با توجه به اطلاعات هواشناسی و داده‌های گیاهی و مزرعه‌ای اندازه‌گیری شده که از سطح مزارع در سال اول برداشت شده بود، مدل آکواکراپ واسنجی و تغییرات عملکرد در نوبت‌های مختلف آبیاری با استفاده از مدل شبیه‌سازی شد. بمنظور اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل، مناسب‌ترین سناریو ارائه شده توسط مدل در سال دوم (۹۵-۹۴) در سطح مزارع منتخب اجرا و نتایج حاصل از آن با نتایج شبیه‌سازی توسط مدل مورد مقایسه و ارزیابی واقع شد.

نتایج و بحث

از اطلاعات اندازه‌گیری شده زراعی و گیاهی پایلوت‌ها بمنظور واسنجی مدل آکواکراپ استفاده گردید. از این رو با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده مورد نیاز مدل، شبیه‌سازی در شرایط مختلف نوبت های آبیاری انجام پذیرفت. بمنظور مقایسه تغییرات عملکرد دانه گندم با در نظرگیری نوبت‌های مختلف آبیاری (۳ تا ۶ نوبت آبیاری متعارف در منطقه) در پایلوت‌های مختلف، سناریوهای مختلف مدیریتی از نظر نوبت‌های آبیاری اعمال و نتایج شبیه‌سازی شده عملکرد و سایر اجزا در جدول ۶ ارائه گردیده است. محدوده مقدار شبیه‌سازی شده عملکرد دانه گندم در شرایط معمول منطقه (۵ نوبت آبیاری) بین ۲/۴ تا ۲/۹ تن در هکتار (با متوسط ۲/۶ تن در هکتار) بوده که با مقدار اندازه گیری شده آن (۳ تن در هکتار) تفاوت چندانی ندارد (با متوسط خطای ۱۳ درصد). بنابراین همانگونه که ملاحظه می‌گردد نتایج شبیه‌سازی شده عملکرد گندم بدست آمده با مدل قرابت و همخوانی بالایی با مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد داشته و می‌توان در شبیه‌سازی سناریوهای مختلف آبیاری از آن استفاده نمود. با توجه به جدول ۶ که ارتباط بین نوبت آبیاری (۳ تا ۶ نوبت) و عملکرد دانه، حجم آب مصرفی و کارایی مصرف آب گندم را در پایلوت‌های مورد نظر نشان می‌دهد ملاحظه می‌گردد مقدار عملکرد دانه و کل در ۴ نوبت آبیاری با مقادیر متناظر در ۵ نوبت آبیاری تفاوت ندارد. نوبت‌های آبیاری در نظر گرفته شده مطابق نوبت‌های آبیاری معمول منطقه در مراحل کاشت، پنجه‌دهی، ساقه‌دهی، گلدهی و پرشدن دانه بودند (۵ نوبت) که برای ۴ نوبت آبیاری مرحله پنجه‌دهی و برای ۳ نوبت آبیاری مرحله پنجه و ساقه‌دهی حذف گردیدند.

همچنین برای ۶ نوبت آبیاری، ۱ نوبت آبیاری در مرحله رسیدن در نظر گرفته شد. جهت مقایسه عملکرد، مقادیر متوسط شبیه‌سازی شده سه پایلوت در جدول ۷ نشان داده شده است.

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد که میانگین مقادیر عملکرد کل و دانه گندم شبیه‌سازی شده در ۴ و ۵ نوبت آبیاری تفاوت نداشته، در حالی که حجم آب مصرفی در ۴ نوبت آبیاری به میزان ۲۰ درصد نسبت به ۵ نوبت آبیاری کاهش داشته است. از طرف دیگر کارایی مصرف آب در ۴ نوبت آبیاری به میزان ۲۱ درصد نسبت به ۵ نوبت آبیاری افزایش داشته است.

جدول ٦- تغییرات عملکرد گندم شبیه‌سازی شده با اعمال نوبت‌های مختلف آبیاری با مدل آکواکراپ

Table 6- Variation of simulated wheat yield with irrigation events using Aquacrop model

پایلوت Pilots	Irrigation No. نوبت آبیاری	Consumed water حجم آب مصرفی m^3/ ha	ET تبخیر- تعرق mm	Total yield عملکرد کل 1000 kg /ha	Grain yield عملکرد دانه 1000 kg /ha	WUE کارایی مصرف آب Kg/m^3
1	3	5800	234	4.7	1.9	0.33
	4	7600	258	5.8	2.4	0.31
	5	9400	270	5.8	2.4	0.26
	6	11200	297	6.0	2.5	0.22
2	3	5800	272	6.2	2.5	0.43
	4	7600	309	7.2	2.9	0.38
	5	9400	323	7.2	2.9	0.31
	6	11200	333	7.2	2.9	0.26
3	3	5800	267	5.6	2.2	0.38
	4	7600	302	6.6	2.6	0.34
	5	9400	329	6.7	2.6	0.28
	6	11200	328	6.6	2.6	0.23

جدول ۷- متوسط نتایج تغییرات عملکرد گندم شبیه‌سازی شده با اعمال نوبت‌های مختلف آبیاری توسط مدل AquaCrop

Table 7- Mean simulated wheat yield with irrigation events using Aquacrop model

Irrigation No. نوبت آبیاری	Consumed water حجم آب مصرفی m^3/ ha	ET تبخیر- تعرق mm	Total yield عملکرد کل 1000 kg /ha	Grain yield عملکرد دانه 1000 kg /ha	WUE کارایی مصرف آب Kg/m^3
3	5800	258	5.5	2.2	0.38
4	7600	290	6.5	2.6	0.34
5	9400	307	6.5	2.6	0.28
6	11200	319	6.6	2.7	0.24

همچنین با توجه به شبیه‌سازی انجام شده ملاحظه می‌گردد که افزایش یک نوبت آبیاری در مرحله رسیدن (فروردین ماه) ضمن اینکه افزایش قابل توجهی در عملکرد دانه و کل ایجاد نکرد، کارایی مصرف آب را به جهت افزایش آب مصرفی (یک نوبت آبیاری) کاهش داد. همچنین در نظرگیری ۳ نوبت آبیاری موجب کاهش عملکرد دانه به میزان ۱۵ درصد گردید. با عنایت به کاهش عملکرد زیاد در سه نوبت آبیاری نسبت به نوبت‌های بیشتر آبیاری، این سناریو از نظر عملکرد توصیه نمی‌گردد. لذا طبق شبیه‌سازی انجام شده حداقل ۴ نوبت آبیاری (در مراحل کاشت، ساقه‌دهی، گلدهی و پرشدن دانه) جهت حفظ سطح تولید مناسب در شرایط موجود قابل توصیه می‌باشد. بمنظور اعتبارسنجی نتایج بدست آمده از مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم، در سال دوم (۹۵-۹۴) اطلاعات آب مصرفی و عملکرد در سه مزرعه منتخب اندازه‌گیری (با توجه به نتایج سال اول در ۴ نوبت آبیاری) و با توجه به شرایط اقلیمی سال دوم با نتایج مدل مورد بررسی و ارزیابی واقع شد. نتایج حجم آب آبیاری به همراه کیفیت آب آبیاری در نوبت‌های آبیاری در سال دوم در جدول ۸ ارائه شده است.

در هر یک از پایلوت‌های منتخب برداشت گندم در سه تکرار و در سطح یک متر مربع در هفته اول اردیبهشت ماه ۱۳۹۵ انجام شد. جدول ۹ متوسط نتایج عملکرد دانه و کل گندم برداشت شده در پایلوت‌های منتخب را در منطقه حمیدیه در سال دوم ارائه می‌نماید.

جدول ۸- تعداد و حجم آب آبیاری گندم در مراحل مختلف رشد در پایلوت‌های منتخب (سال ۹۵-۹۴)

Table 8- Number and Volume of wheat irrigation water in different growth stage in selected pilots (2014-2015)

نوبت‌های آبیاری No irrigation	1	2	3	4
Growth stages مرحله رشد	کاشت Planting	ساقه‌دهی Stem elongation	گلدهی Flowering	پر شدن دانه Grain filling
Irrigation volume حجم آب آبیاری (m^3/ha)	1450	1400	1200	1450
Irrigation water salinity شوری آب آبیاری (dS/m)	1.9	1.9	1.9	1.9

جدول ۹- میانگین عملکرد دانه و کل گندم اندازه‌گیری شده در مزارع منتخب (سال دوم)

Table 9- Number and volume of irrigations in different growth stage (second year)

Selected pilots پایلوت‌های منتخب	Total yield عملکرد کل 1000kg /ha	Grain yield عملکرد دانه 1000kg /ha	HI شاخص برداشت %
مزرعه 1	12.1	4.5	0.37
مزرعه 2	11.1	4.2	0.38
مزرعه 3	12.0	4.4	0.36
میانگین	11.7	4.4	0.37

همانگونه که ملاحظه می‌گردد میانگین عملکرد دانه گندم در سال دوم ۴/۴ تن در هکتار شده است. نتایج شبیه‌سازی شده عملکرد در سال دوم توسط مدل آکواکراپ در جدول ۱۰ ارائه شده است.

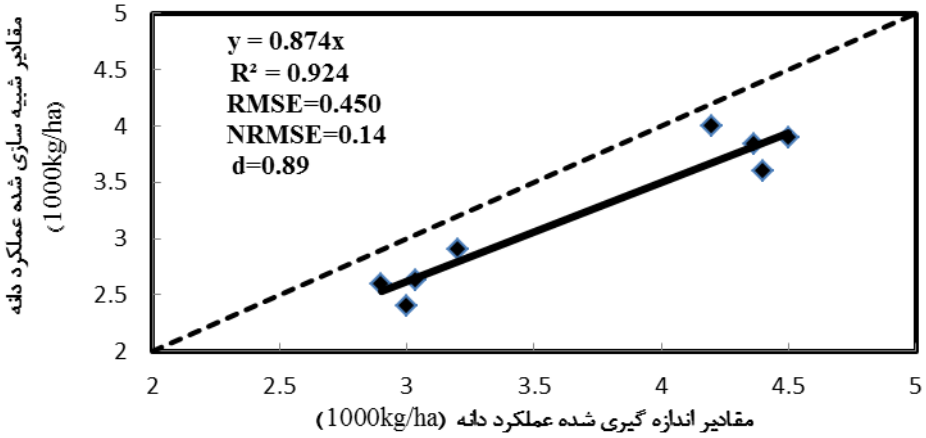
با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱۰ ملاحظه می‌گردد که متوسط عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی شده مقدار ۳/۸ تن در هکتار گردیده که نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده آن ۱۴ درصد عملکرد دانه را کمتر از شرایط واقعی پایلوت‌ها برآورد می‌کند و بیانگر دقت و کارایی مناسب این مدل در شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط حاضر می‌باشد. روند تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه در دو سال زراعی در شکل ۳ ارائه شده است.

همانگونه که از شاخص‌های آماری ارائه شده در شکل ۳ ملاحظه می‌گردد ضریب تبیین، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده و شاخص توافق به ترتیب برابر با ۰/۹، ۰/۱۴ و ۰/۸۹ می‌باشند که بیانگر عملکرد و کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی عملکرد گندم در دو سال متوالی می‌باشد. همانگونه که ملاحظه می‌گردد، عملکرد اندازه‌گیری شده در سال اول کمتر از مقادیر عملکرد گندم در سال دوم می‌باشد که به دنبال آن عملکرد شبیه‌سازی شده نیز در سال اول کمتر از سال دوم بدست آمده است. با توجه به اینکه در سال اول تحقیق بدلیل تخصیص نامناسب و عدم تأمین حجم آب مورد نیاز، در سه نوبت اول از تلفیق آب آبیاری و آب زهکش استفاده گردید که موجب شد شوری آب آبیاری از ۱/۹ به ۶/۵ دسی زیمنس بر متر افزایش یابد (جدول ۴). به عبارت دیگر استفاده از آب شور در سه نوبت آبیاری موجب گردید تا عملکرد محصول کاهش یافته و نسبت به عملکرد سال دوم (با شوری آب ۱/۸ دسی زیمنس بر متر) تفاوت داشته باشد که نتایج ارائه شده از این مدل نیز مؤید این تغییرات می باشد. همچنین از دیگر عوامل تغییرات عملکرد در دوسال مختلف مقدار بارندگی بوده که در سال اول ۱۳۷ و در سال دوم به ۲۲۸ میلی متر افزایش یافته است که این نیز موجب افزایش عملکرد گندم در سال دوم شده است که بیانگر کارایی مدل آکواکراپ در نتیجه این تغییرات (با توجه به نتایج شکل ۳) می‌باشد.

جدول ۱۰- تغییرات عملکرد گندم شبیه‌سازی شده پایلوت‌ها با اعمال ٤ نوبت آبیاری توسط مدل AquaCrop در شرایط سال دوم

Table 10- Variation of simulated wheat yield with considering four irrigation events using model (second year)

پایلوت	Consumed water حجم آب مصرفی m^3/ha	ET تبخیر- تعرق mm	Total yield عملکرد کل 1000kg /ha	Grain yield عملکرد دانه 1000kg /ha	WUE کارایی مصرف آب Kg/m^3
1	5500	271	8.9	3.9	0.71
2	5500	287	9.4	4.0	0.73
3	5500	291	9.0	3.6	0.65
میانگین	5500	283	9.1	3.8	0.70



شکل ۳- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه توسط مدل آکواکراپ با خط یک به یک

Figure 3- Comparison between measured and simulated grain yield using Aquacrop with 1:1 line

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه تغییرات شرایط اقلیمی بخصوص بارندگی و کیفیت آب آبیاری (از نظر شوری) تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد گیاهان بوجود می‌آورند، لذا پیش‌بینی و شبیه‌سازی عملکرد گیاهان در شرایط متفاوت اقلیمی، آب و خاک با استفاده از مدل‌های معتبر و قابل توصیه از اهمیت شایانی برخوردار است. نظر به اینکه مدل آکواکراپ جنبه‌های مختلف آب، خاک و گیاه را به صورت توأم در نظر گرفته و تمرکز آن بر مدیریت آب و آبیاری می‌باشد، بنابراین واسنجی و اعتبارسنجی این مدل در شرایط مختلف بمنظور شبیه‌سازی عملکرد (با دقت مناسب) حائز اهمیت است. نتایج این تحقیق نشان داد که شبیه‌سازی عملکرد گندم در سال اول (۲/۶ تن در هکتار) قرابت و نزدیکی مناسبی با مقادیر اندازه‌گیری شده عملکرد (۳ تن در هکتار) دارد. همچنین اعتبارسنجی مدل با تغییر شرایط در سال دوم نشان داد که عملکرد شبیه‌سازی شده گندم (۴/۴ تن در هکتار) نیز با مقدار اندازه‌گیری شده آن (۳/۸ تن در هکتار) همخوانی مناسبی داشته که بیانگر دقت بالای این مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم در هر دو سال می‌باشد. بنابراین این مدل کارایی و دقت مناسبی در شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط پژوهش داشته است.

منابع

1- Abedinpour M., Sarangib Rajputb A., Man Singhb T.B.S., Pathakc H., and Ahmadd T. 2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. Agricultural Water Management. 110, Pages 55–66.
2- Afshar A., and Neshat A. 2013. Evaluation of Aqua Crop computer model in the potato under irrigation management of continuity plan of Jiroft region, Kerman, Iran. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research, 1(12): 1669-1678.
3- Babazadeh H., and Sarai Tabrizi M. 2011. Assessment of AquaCrop Model under Soybean Deficit Irrigation Management Conditions. Journal of Water and Soil, 26(2):329-339. (In Persian with English abstract)
4- Geerts S., Raes D., Garcia M., Miranda R., Cusicanqui J.A., Taboada C., Mendoza J., Huanca R., Mamani A., Condori O., Mamani J., Morales B., Osco V., and Steduto P. 2009. Simulating Yield Response of Quinoa to Water Availability with AquaCrop. Agronomy Journal, 101: 499–508.
5- Guendouz A., Hafsi M., Khebbat Z., and Achiri A. 2014. Performance evaluation of aquacrop model for durum wheat (*Triticum durum* Desf.) crop in semi-arid conditions in Eastern Algeria. International Journal of Microbiology and Applied Sciences, 3. 2. 168-176.
6- Iqbal M., Shen Y., Stricevic R., Pei H., Sun H., Amiri E., Penas A., and Del Rio S. 2014. Evaluation of the FAO AquaCrop model for winter wheat on the North China Plain under deficit irrigation from field experiment to regional yield simulation. Agricultural Water Management, 135:61-72.
7- Khalili N., Davari K., Alizadeh A., Najafi M., and Ansari H. 2014. Simulation of rainfed wheat yield using AquaCrop model, Case study: Sisab rainfed researches station, Northen Khorasan. Journal of Water and Soil, 28 (5), 930-939. (In Persian with English abstract).
8- 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 anddrainage. 63, pages 474–487.
9- Montoya F., Camargo D., Ortega J.F., Córcoles J.I., and Domínguez A. 2016. Evaluation of Aquacrop model for a potato crop under different irrigation conditions. Agricultural Water Management. 164, Part 2, Pages 267–280.
10- Raes D., Steduto P., Hsiao TC., and Fereres E. 2012. Reference manual AquaCrop, FAO, Land and Water Division, Rome, Italy.
11- 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." Journal of Agronomy, 101:426–437.
12- Todorvic M., Albrizio R., Zivotic L., Abi Saab M., Stocle C., and Steduto P. 2009. AssesmentofAquacrop, Cropsyst, and Wofost models in the simulation of sunflower Growth under different water regimes. Agronomy Journal, 101: 509-521.
13- Toumia J., Er-Rakib S., Ezzaharc J., Khabbaa S., Jarland L., and Chehbounid A. 2016. Performance assessment of AquaCrop model for estimating evapotranspiration, soil water content and grain yield of winter wheat in Tensift Al Haouz (Morocco): Application to irrigation management. Agricultural Water Management. 163, Pages 219–235.
14- Zhang W1., Liu W., Xue Q., Chen J., and Han X. 2013. Evaluation of the AquaCrop model for simulating yield response of winter wheat to water on the southern Loess Plateau of China. Water Science Technology, 68(4):821-8.
15- Ziaii G., Babazadeh H., Abbasi F., and Kaveh F. 2014. Evaluation of the Aquacrop and CERES-Maize Models in Assessment of Soil Water Balance and Maize Yield. Iranian Journal of Soil and Water Research, 45(4):435-445. (In Persian with English abstract).

Journal of Water and Soil
Vol. 32, No. 3, Jul.-Agu. 2018, p. 463-473

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۲، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۷، ص. ۴۷۳-۴۶۳

Validation of Aquacrop Model for Simulating Wheat Yield in Different Irrigation Events

M. R. Emdad [1]***- A. Tafteh** [2]**- S. Ghalebi**[3]

Received: 30-01-2018
Accepted: 03-06-2018

Introduction: Simulation models have been used for decades to analyse crop responses to environmental stresses. AquaCrop is a crop water productivity model developed by the Land and Water Division of FAO. It simulates yield response to water of herbaceous crops, and is particularly suited to address conditions where water is a key limiting factor in crop production. It is designed to balance simplicity, accuracy and robustness, and is particularly suited to address conditions where water is a key limiting factor in crop production. AquaCrop is a companion tool for a wide range of users and applications including yield prediction. Aquacrop has high accuracy and performance for yield prediction than other models regarding to irrigation and fertilizer management base foundation. Using Aquacrop model for crop yield simulation in different soil and water managements has high accuracy and its use requires calibration and validation. The use of models saves time and cost and, if calibrated and validated, acceptable results are expected.

Material and Methods: This research was carried out in order to calibrate and validate the Aquacrop model for simulating wheat grain yield in the three selected pilots in Hamidiyeh province of Khuzestan province in two years of cultivation.In this regard, three different plots with a total area of about 10 hectares were selected in Hamidyeh region. Sampling, measuring and determining the parameters of soil, water, plant, irrigation management (information required for the Aquacrop model) and the existing conditions of the area were carried out.The climatic data required in Aquacrop model was collected from synoptic meteorological weather station of Ahvaz. Irrigation water quality with mean water salinity of 1.9 dS/m has a good quality for irrigation. In the first year, 5 irrigation events (with a total volume of 9500 cubic meters per hectare) are available to the wheat plant at different stages. In this regard, based on meteorological data and field and vegetation data that was taken from the field level in the first year, the Aquacrop model calibration and performance variations were carried out at different times of irrigation using a simulation model. In order to validate the results simulated by the model, the best scenario provided by the model in the second year was implemented at selected farm level and its results were compared with the simulation results by the model.

Results and Discussion: Aquacrop model calibrated for the first year and then compared for different scenarios of irrigation timing (3-6 irrigation event).The amount of grain yield and total in 4 irrigation intervals are not different with the corresponding values in 5 irrigation intervals. Irrigation rotations were considered in accordance with routine irrigation rotations of the region during planting, tillering, stemming, flowering and seed filling (5 turns) for 4 steps of irrigation step and for 3 irrigation stages, the tiller and stem elongation was deleted. The model showed that, using four irrigation timing is the most appropriate irrigation scenario. Using the results of the model with considering 4 irrigation times, wheat was planted in the second year for model validation. In the second year, the average of measured and simulated wheat grain yield was 3.8 and 4.4 t/h (with 14% error).Average values of total yield and simulated wheat seeds in 4 and 5 irrigation intervals were not different, while the amount of water consumed in 4 irrigation intervals decreased by 20% compared to 5 irrigation intervals. On the other hand, water use efficiency increased by up to 21% in 4 irrigation intervals compared to 5 irrigation intervals. Also, according to the simulation, it was observed that increasing the irrigation interval at the arrival stage, while not significantly increasing the grain yield and the total, did not increase the water use efficiency in order to increase the water consumption (one irrigation interval) Reduced. Considering 3 irrigation timing, the grain yield decreased by 15%. Due to the reduced yield in three irrigation intervals than the more irrigation intervals, this scenario is not recommended for performance reasons. So, according to the simulation, at least 4 irrigation intervals (during planting, stemming, flowering and seed filling) are recommended to maintain proper production level in existing conditions. Comparison of statistical indices between measured and simulation values of wheat grain yield in both years showed that the coefficient of correlation, normalized root

1, 2 and 3- Assistant Professors and Instructor of Irrigation and Soil Physics Department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran, Respectively
(*- Corresponding Author Email: emdadmr591@yahoo.com)

mean square error (RMSE) and agreement index were 0.9, 0.14, and 0.89 respectively, which indicates the proper performance of the model for simulating yield of wheat for two consecutive years. The average grain yield of simulated wheat has been estimated at 3.8 ton / ha, which estimates 14% of grain yield less than actual experimental conditions compared to its measured value, indicating the accuracy and efficiency of this model in simulating wheat yield in the present situation. With considering 4 irrigation events, the water use efficiency of wheat grain yield increased by 0.7 kg/m^3, which confirms the ability and accuracy of the Aquacrop model for simulating grain yield of wheat and also improving water use efficiency.

Conclusions: The results of this study showed that the simulation of wheat yield in the first year (2.6 t/ha) has a close proximity to the measured values of yield (3 t/ha). Also, validation of the model with changing conditions in the second year showed that the simulated yield of wheat (4.4 t/ha) also had a good agreement with its measured value (3.8 t/ha), which indicates the high accuracy of this model in simulating wheat grain yields every two years. Therefore, this model has the efficiency and accuracy in simulating wheat yield in research conditions.

Keywords: Irrigation interval, Surface irrigation, Water use efficiency, Wheat