

بررسی و ارزیابی مدل آکواکراپ در برآورد عملکرد گندم در مدیریت‌های مختلف حاصلخیزی

محمد رضا امداد*^۱، آرش تافته^۱ و علیرضا جعفرنژادی^۲

۱- استادیار پژوهشی بخش تحقیقات آبیاری و فیزیک خاک، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

۲- دانشیار پژوهشی بخش خاک و آب، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز، ایران.

* نویسنده مسئول: emdadm591@yahoo.com

چکیده:

عملکرد محصول گندم به دلیل عدم تأمین کود مورد نیاز در زمان و به مقدار کافی و متناسب با سطح زیر کشت تحت تاثیر قرار می‌گیرد. مدل آکواکراپ یکی از مدل‌های گیاهی است که از قابلیت و کارایی مناسبی نسبت به سایر مدل‌های گیاهی از بعد آبیاری و حاصلخیزی برخوردار است. در این پژوهش دو مدیریت مختلف کودی برای گندم در نظر گرفته شده و با نتایج شبیه سازی شده توسط مدل آکواکراپ مورد مقایسه و ارزیابی واقع شد. در سال اول تحقیق تاثیر شرایط حاصلخیزی خاک (شرایط بهینه تغذیه‌ای) و شرایط موجود در منطقه حمیدیه در سه پایلوت اندازه گیری و سپس توسط مدل آکواکراپ واسنجی و شبیه سازی شد. در سال دوم، دو مدیریت کود دهی شامل مدیریت زارع و شرایط مناسب حاصلخیزی بمنظور اعتبارسنجی شد. متوسط عملکرد گندم در پایلوت های منتخب در شرایط زارع (کوددهی معمول) ۲/۷ تن در هکتار بوده و متوسط مقدار شبیه سازی آن با مدل آکواکراپ ۲/۶ تن در هکتار گردیده است. با توجه به نتایج مذکور مقادیر شبیه سازی شده عملکرد گندم با مدل آکواکراپ قرابت و همخوانی بالایی با مقادیر عملکرد اندازه گیری شده در شرایط زارع دارد. نتایج حاصل از اعتبار سنجی در سال دوم نشان داد که در شرایط مناسب حاصلخیزی متوسط عملکرد دانه گندم اندازه گیری شده و شبیه سازی شده بترتیب ۴/۵ و ۴/۳ تن در هکتار می باشد (۵ درصد خطا) و بیانگر این است که مدل آکواکراپ از قابلیت و کارایی بالایی در شبیه سازی عملکرد دانه گندم در مدیریت های مختلف کودی دارد.

کلمات کلیدی: مدیریت تغذیه ای، شبیه سازی عملکرد، گندم، مدل گیاهی.

مقدمه:

خاکهای منطقه حمیدیه از رسوبات آبرفتی آلوویال رودخانه‌های کرخه و همچنین موادی که بوسیله طوفانهای شنی انتقال یافته، تشکیل شده است. شیب عمومی خاکهای منطقه ملایم و بین ۰/۲ تا ۰/۰۵ درصد است. بافت خاک منطقه عموماً سیلتی کلی و سیلتی کلی لوم (بافت سنگین) بوده و میزان مواد آلی خاک خیلی کم می باشد. بطور کلی میزان ازت، فسفر و پتاسیم خاک در لایه سطحی و لایه های پایینی کم است. چون میزان فسفر و ازت در این خاک ها ناچیز است برای تأمین حاصلخیزی خاکها استفاده از کودهای ازته و فسفر امری ضروری است.

در شرایط خوزستان با توجه به شرایط آب و هوایی فصل زراعی، مزارع آبی گندم را ۴ تا ۷ آبیاری می کنند که لزوماً این آبیاری ها در زمان های مناسب و متناسب با نیاز گیاه گندم انجام نشده، ضمن اینکه خاک های منطقه از نظر حاصلخیزی ضعیف بوده که این عوامل باعث کاهش عملکرد و عدم دستیابی به کارایی مصرف آب مناسب می شود. کودها از عوامل مهم تاثیر گذار در تولید گندم می باشند که این نیاز معمولاً با استفاده از کودهای شیمیایی تامین و مدیریت می شود. عملکرد محصول گندم بدلیل عدم تامین کود مورد نیاز در زمان و به مقدار کافی و متناسب با سطح زیر کشت تحت تاثیر قرار می گیرد. از طرف دیگر غالب خاک های استان خوزستان نیز بدلیل عدم مدیریت مناسب از نظر حاصلخیزی بسیار ضعیف و درصد کربن آلی خاک های این استان پایین می باشد. میزان فسفر و پتاس که از عناصر غذایی اصلی در تغذیه گندم می باشند نیز در اکثر خاکهای خوزستان بدلیل مدیریت نادرست زراعی در حد مناسبی نمی باشند. سایر عناصر غذایی نیز وضعیت مشابه ای دارند که نیاز به توجه ویژه دارند.

در این ارتباط کمبود عناصر غذایی در خاک منجر به کاهش عملکرد و نهایتاً کاهش بهره وری و کارایی مصرف آب می شود. در توانایی نگهداری عناصر غذایی در خاک عواملی چون مواد آلی خاک، بافت خاک، درصد اشباع، ظرفیت تبادل کاتیونی و درصد رس مؤثر می باشند. همچنین عوامل مختلفی مانند بافت خاک، جرم مخصوص ظاهری، درصد شن و مقاومت مکانیکی خاک بر شرایط رشد و توسعه ریشه تاثیر دارند. غالباً کشاورزان منطقه حمیدیه از کود اوره در دو مقطع پنجه زنی و قبل از گلدهی استفاده می کنند (متوسط ۱۵۰ تن در هکتار). کود پتاسیم، فسفر و سایر کود های

ریزمغذی در منطقه استفاده چندانی نداشته و توسط غالب کشاورزان منطقه مصرف نمی گردد. لذا عملکرد گندم با توجه به ضعف بودن شرایط حاصلخیزی خاک در منطقه پایین می باشد (حدود ۲/۳ تن در هکتار).

مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی از ابزارهای بسیار مهم در مطالعه و بررسی سیستم‌های کشاورزی بوده و از آنها می‌توان در رفع نیاز روزافزون به سیاست‌گذاری‌های خرد و کلان، تصمیم‌سازی، تصمیم‌گیری و یا طراحی روش‌های مدیریتی و نیز پیش‌بینی عملکرد گیاهان در شرایط مختلف به خوبی استفاده کرد. گسترش روزافزون این نیازها باعث شده که مدل‌ها به عنوان پشتیبان تصمیم‌های تاکتیکی و استراتژیک، ایفای نقش نمایند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل SWAP، WOFOST، CropSyst، CROPWAT، Budget و CRPM اشاره کرد که هر کدام در راستای اهدافی خاص بکار رفته و دارای مزایا و معایبی نسبت به یکدیگر می‌باشند. به دلیل این که فاکتورهای موثر بر سیستم تولید محصولات زراعی و ستاده‌های بخش کشاورزی متعدد بوده و حتی این فاکتورها گاهی اثر متقابل روی یکدیگر دارند، لذا استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی فرآیند تولید و عملکرد محصولات گامی اساسی و مناسب در امر مدیریت و تصمیم‌گیری می‌باشد. با کمک مدل‌ها می‌توان عملکرد محصول و سایر اجزا مرتبط را در شرایط مختلف شبیه‌سازی نمود. از مدل‌های شبیه‌سازی می‌توان به عنوان یک ابزار با قابلیت‌های متفاوت برای ارزیابی مدیریت آبیاری در سطوح مختلف حوضه، شبکه آبیاری و مزارع استفاده نمود و تاثیر شرایط پیچیده مدیریت آبیاری را بر عملکرد ارزیابی کرد. رشد گیاهان زراعی به شرایط آب و هوایی، اقلیمی، خاک و مدیریت آبیاری وابسته است و تغییر در هر یک از این شرایط می‌تواند باعث تغییر در بازدهی و عملکرد محصولات شوند. لذا اگر بتوان پیشاپیش با توجه به شرایط حاکم بر منطقه و با اطلاعات موجود، وضعیت محصول‌دهی گیاه را در شرایط مختلف مدیریتی مورد نظر شبیه‌سازی کرد، به دنبال آن می‌توان با صرف وقت و هزینه کمتر به نتایج خوب و قابل ترویجی دست یافت. به بیان دیگر تهیه و کاربرد مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان پایه گذار مناسبی در مطالعه نوع پاسخ گیاه به تغییر در الگوی آب و هوا، اقلیم، عملیات مدیریتی و گیاه است.

مدل AquaCrop یکی از مدل‌های گیاهی است که توسط سازمان خوار و بار جهانی (فائو) در سال ۲۰۱۷ ارائه شده که از قابلیت و کارایی مناسبی نسبت به سایر مدلها برخوردار است. هنگ و همکاران (2009)، مدل AquaCrop را برای ذرت در سه منطقه با شرایط کاملا متفاوت نیمه خشک، باد شدید و تبخیر- تعرق بالا و آب و هوای بارانی و خاک شنی بررسی نمودند. نتایج نشان داد که مدل قادر است به صورت قابل قبول آب مصرفی گیاه را تحت شرایط تبخیر- تعرق و باد زیاد شبیه سازی نماید (هیسائو و همکاران، 2009).

استریسیویک و همکاران (2014) بیان نمودند که اگرچه مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس ذرت در شرایط بدون تنش‌های کم‌آبی و حاصلخیزی از دقت قابل قبولی برخوردار بود اما با افزایش سطوح این تنش‌ها دقت مدل کاهش یافت. کارایی مصرف آب، توسعه کانوپو عملکرد وزن دانه و بیوماس ذرت تحت شرایط کم‌آبی در مراحل مختلف رشد به خوبی توسط مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد. عزیزاده و همکاران (2010)، تحقیقی در مدیریت کم-آبیاری گندم در منطقه کرج در دو سال زراعی انجام دادند. نتایج نشان داد که مدل آکواکراپ برای دور آبیاری ۷ روز، در پیش‌بینی مقدار عملکرد دانه، تبخیر- تعرق گیاهی (ETc) و کارایی مصرف آب قابلیت خوبی داشته‌است (میانگین مربعات خطای ۴/۹۵٪ و حداکثر خطای ۸/۲۱٪)، در حالی که کارایی مدل در پیش‌بینی این عوامل در دور آبیاری ۱۴ روزه کمتر بود.

بابازاده و سرائی (2011)، به منظور ارزیابی و آنالیز حساسیت 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. نتایج نشان داد که ورودی‌های مدل به زمان سبز شدن بذرها، رطوبت اولیه خاک و عمق آب آبیاری در تیمار آبیاری کامل حساسیتی ندارد. در همه تیمارها شبیه‌سازی عملکرد محصول، تبخیر- تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب سویا عملکرد قابل قبولی (با درصد خطای کم) داشت (درصد خطا کمتر از ۴/۶ درصد). ماکزیمم خطا (ME) در تیمار آبیاری کامل (تیمار شاهد) ۵/۹۷ گزارش شد.

گارسیا ویلا و همکاران (2009)، در مطالعه بهینه سازی کم آبیاری برای گیاه پنبه نتیجه گرفتند که با استفاده از مدل AquaCrop می توان عملکرد محصول، بهره وری آب، بیوماس و رشد پوشش تاج گیاه را به خوبی شبیه سازی کرد. همچنین نتایج نشان داد که این مدل می تواند ابزاری مفید بمنظور اخذ تصمیمات مدیریتی آبیاری مناسب در سطح مزرعه در نظر گرفته شود. توکلی و همکاران (2014)، با استفاده از مدل AquaCrop و داده های دو ساله گندم دیم در استان لرستان که شامل دو نوبت آبیاری (در زمان کاشت و در بهار) بود گزارش کردند که میانگین انحراف نرمال شده مقادیر شبیه سازی شده از مقادیر اندازه گیری شده (درصد خطا) برای درصد پوشش گیاهی، مقدار آب خاک و عملکرد دانه به ترتیب ۸/۵۳، ۱۰/۳۴ و ۸/۳۴ درصد بدست آمده است. ضریب کارایی مدل در تخمین عملکرد، موازنه آب خاک و درصد پوشش سبز به ترتیب ۰/۹۳، ۰/۷۸ و ۰/۹۲ گزارش شده است. شاخص سازگاری نزدیک به یک بوده که حاکی از سازگاری مقادیر رطوبت آب خاک، عملکرد دانه و درصد پوشش گیاهی در مدل با مقادیر واقعی دارد.

قربانیان و همکاران (2015)، به منظور برآورد دقت مدل AquaCrop و برآورد وزن تر اندام هوایی و تبخیر-تعرق ذرت در شرایط مختلف بافت و حاصلخیزی خاک در سه تیمار بافت خاک (لوم رسی سیلتی، لوم و لوم شنی) و در سه سطح حاصلخیزی خاک (بدون افزودن کود، افزودن یک و دو درصد کود به خاک) در منطقه جی و قهاب اصفهان آزمایشی را اجرا کردند. نتایج بیانگر این مطلب بود که میانگین خطای نرمال شده در برآورد وزن تر اندام هوایی ذرت در مرحله واسنجی و صحت سنجی به ترتیب ۰/۸۷٪ و ۰/۶۷٪ بدست آمد. پیش بینی تبخیر-تعرق ذرت در طول فصل رشد توسط مدل با میزان خطای بیشتری همراه بود. بیشینه و کمینه میانگین ریشه مربعات خطای مدل، در تیمارهای خاک لومی شنی با افزودن ۲ درصد کود و خاک لوم با افزودن ۱ درصد کود به ترتیب برابر ۰/۸۸ و ۰/۴۲ میلیمتر بر روز بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین مقادیر RMSE و NRMSE در شبیه سازی تبخیر-تعرق ذرت در خاک لوم شنی به ترتیب برابر ۱/۱۶ و ۲۴/۳ درصد است که بیش تر از میانگین مقادیر RMSE و NRMSE در دو نوع خاک لوم رسی سیلتی و لوم (به ترتیب ۱/۰۸، ۲/۲۶٪ و ۰/۹۳ و ۲۰/۴٪) می باشد.

اروئه و عباسی (2014)، اظهار داشت که عملکرد محصول کلزا، تغییرات رطوبت خاک، عمق توسعه ریشه و وزن اندام هوایی با مدل آکواکراپ با دقت بالایی شبیه‌سازی شده است. در این تحقیق مقدار میانگین ریشه مربعات خطا RMSE برای عمق توسعه ریشه و وزن توده اندام هوایی به ترتیب برابر ۰/۰۸ متر و ۱/۶ تن بر هکتار بدست آمد. کارایی مصرف آب اندازه گیری شده در مزارع به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۴۳ کیلوگرم بر متر مکعب و مقدار شبیه‌سازی شده توسط مدل ۰/۴۳ و ۰/۳۹ کیلوگرم بر متر مکعب بوده که نشان دهنده سازگاری و دقت بالای مدل می باشد.

ژانگ و همکاران (2013) در ارزیابی مدل AquaCrop برای گندم دیم در چانگوا (خاک لومی) گزارش کردند که عملکرد محصول، تغییرات رطوبت خاک، پوشش سبز گیاه و وزن اندام هوایی به خوبی در مزرعه توسط این مدل شبیه‌سازی شده است. در این تحقیق مقدار RMSE عملکرد محصول، تغییرات رطوبت خاک، پوشش سبز گیاه و وزن اندام هوایی به ترتیب ۰/۵ تا ۱/۴۴ تن در هکتار، ۷/۵ تا ۲۲/۵۶ میلیمتر، ۱/۸۷ تا ۴/۱۵٪ و ۰/۱۶ تا ۰/۳۸ تن در هکتار بدست آمد. سالمی و همکاران (2011)، اثر کم آبیاری بر عملکرد گندم زمستانه و بهره وری آب در کبوترآباد اصفهان را با استفاده از AquaCrop بررسی و ارزیابی نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که مدل مذکور، از دقت خوبی در برآورد زیست توده و وزن دانه برخوردار است (میانگین ریشه مربعات خطا در این تحقیق ۲/۳۱ تا ۵/۶۳ تن بر هکتار و انحراف معیار ۰/۷- تا ۱۲٪ می باشد).

گاندوز و همکاران (2014)، مدل AquaCrop را برای گندم دوروم در سه فصل زراعی بررسی و گزارش کرد که این مدل عملکرد محصول و شاخص برداشت را به خوبی در مزرعه شبیه‌سازی کرده است. در این تحقیق مقدار میانگین ریشه مربعات خطا RMSE برای عملکرد دانه و شاخص برداشت به ترتیب برابر ۱/۸۶ تن بر هکتار و ۵/۷۵٪ و مقدار قدرمطلق متوسط خطا به ترتیب ۱/۷۷ تن در هکتار و ۴/۷ درصد بدست آمد. اندرزیان و همکاران (2011)، به منظور شبیه سازی عملکرد گندم توسط مدل AquaCrop تحت دو شرایط کم آبیاری و آبیاری کامل در منطقه گرم و خشک اهواز (خاک رس سیلتی) مقادیر رطوبت ناحیه ریشه، بیوماس و عملکرد دانها نیز بررسی و گزارش کردند که میانگین مربعات خطا در پارامترهای مذکور کمتر از ۱۰٪ بوده است. همچنین اظهار داشتند که برآورد پارامترها در شرایط آبیاری

کامل از دقت بالاتری برخوردار است. سعادتی و همکاران (2011)، به منظور ارزیابی مدل AquaCrop در منطقه کوشک فارس در دو سال زراعی داده‌های مشاهده‌ای مزرعه برنج را با داده‌های بدست آمده از مدل مورد مقایسه قرار دادند. میزان ME برای پوشش سبز گیاهی بین ۰/۳۴ تا ۰/۸۳ و برای عملکرد دانه بین ۰/۵ تا ۰/۹۸ بدست آمد. میانگین مربعات خطا بین ۰/۰۹ تا ۰/۷ تن در هکتار حاصل شد. بر اساس نتایج بدست آمده اظهار داشتند که مدل می‌تواند برآورد خوبی از مقدار پوشش سبز گیاهی و عملکرد دانه برنج در مدیریت‌های مختلف آبیاری داشته باشد.

مهربان (2013)، به منظور ارزیابی مدل AquaCrop در زراعت گندم در زابل با اعمال ۴ تیمار آبیاری اظهار داشت که مدل آکوکرپ می‌تواند مقدار بیوماس و عملکرد دانه را به خوبی برآورد نماید، اما کارایی مصرف آب را با خطای بیشتری برآورد می‌کند. میزان RMSE در برآورد مقدار بیوماس، عملکرد دانه و WUE به ترتیب برابر ۳/۲٪، ۵/۹٪ و ۱۶/۲ درصد بدست آمد. قنبری و توسلی (2013)، در دو سال زراعی کم آبیاری و افزودن کود نیتروژن بر عملکرد گندم و بهره‌وری آب در شیروان را با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که مدل مذکور از دقت خوبی در برآورد پوشش سبز گیاه و عملکرد دانه برخوردار است (میانگین ریشه مربعات خطا به ترتیب کمتر از ۱۰ و کمتر از ۱۳ درصد بود). همچنین نتایج نشان داد که دقت مدل با افزایش سطح تنش کاهش می‌یابد بطوریکه کمترین دقت در تیمار بدون افزودن کود و تیمار حداکثر کم آبیاری حاصل شد. همچنین مدل در برآورد کارایی مصرف آب از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. فراهانی و همکاران (2009)، در سه سال زراعی اثر کم آبیاری بر عملکرد پنبه در شمال سوریه را با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی نمودند. نتایج تحقیق نشان داد که مدل مذکور از دقت خوبی در برآورد پوشش سبز گیاه (میانگین ریشه مربعات خطا برابر ۹/۵ درصد) برخوردار است. همچنین نتایج نشان داد که دقت مدل با افزایش سطح تنش کاهش می‌یابد.

بیتری و همکاران (2014)، به منظور شبیه‌سازی عملکرد سیب زمینی با مدل AquaCrop تحت دو شرایط کم آبیاری و آبیاری کامل در منطقه نیمه خشک جنوب شرقی آلبانی رطوبت ناحیه ریشه، بیوماس و عملکرد سیب‌زمینی را با این مدل شبیه‌سازی و برآورد کردند. مقدار میانگین مربعات خطای نرمال شده در پارامترهای مذکور کمتر از ۵ درصد

گزارش گردید. اقبال و همکاران (2014)، به منظور بررسی و ارزیابی عملکرد مدل AquaCrop برای گندم زمستانه، مطالعه‌ای در دشت شمالی چین انجام داد. بطور کلی در اعتبارسنجی مدل، ریشه میانگین مربعات خطا برای عملکرد دانه ۰/۵۸ تن در هکتار، بیوماس ۰/۸۷ تن در هکتار، تبخیر- تعرق واقعی ۳۳/۲ میلی متر و رطوبت حجمی خاک ۳۷/۶- ۲۴/۵ میلی متر بود. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop مدلی قابل اطمینان جهت شبیه سازی تولید و عملکرد در دشت شمالی چین می باشد.

خلیلی و همکاران (2014)، شبیه سازی عملکرد گندم را با استفاده از مدل AquaCrop در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سیسب خراسان شمالی انجام دادند. نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قابلیت مدل سازی عملکرد محصول را در شرایط دیم دارا می باشد.

مصرف منطقی و مناسب کودهای شیمیایی در خاک وابسته به آگاهی از چگونگی وضعیت و عرضه طبیعی و ذاتی عناصر غذایی در خاک می باشد که امکان دارد کشاورزان بدان دسترسی نداشته باشند. بدیهی است که تجزیه خاک بهترین روش برای اطلاع از وضعیت عناصر غذایی خاک است. تجزیه های فیزیکی و شیمیایی خاک روش علمی، صحیح و متداول در شناسایی عناصر غذایی خاک می باشد. با تعیین و ارزیابی مناطق درای کمبود و بیش بود عناصر غذایی خاک و مصرف متوازن کود می توان انتظار داشت که با افزایش عملکرد و ارتقاء کارایی مصرف آب، امکان حصول به تولید اقتصادی و پایدار فراهم می گردد.

در این ارتباط استفاده از مدل هایی که بتواند در شرایط متفاوت حاصلخیزی (بهینه و شرایط موجود) عملکرد گیاه را شبیه سازی و پیش بینی نماید حائز اهمیت می باشند. غالب تحقیقات و شبیه سازی های انجام شده توسط مدل آکواکراپ در ارتباط با سناریوهای متفاوت آبیاری و تاثیر آن بر عملکرد گیاهان بوده و کارایی این مدل در پیش بینی عملکرد گیاهان مناسب ارزیابی شده است. این در حالی است که کارایی این مدل در شبیه سازی عملکرد گیاهان در مدیریت های مختلف حاصلخیزی و تغذیه ای مورد توجه واقع نشده است. این پژوهش کارایی مدل آکواکراپ را در شبیه سازی عملکرد گندم در مدیریت های حاصلخیزی موجود و شرایط مناسب کودی در حمیدیه خوزستان بررسی می نماید.

مواد و روش ها

بمنظور تاثیر مدیریت های مختلف حاصلخیزی و ارزیابی مدل آکواکراپ در شبیه سازی عملکرد گندم این پژوهش در منطقه حمیدیه خوزستان در دو سال زراعی ۹۳-۹۴ و ۹۴-۹۵ انجام گردید. در این ارتباط سه پایلوت ۱۰ هکتاری انتخاب و در هر پایلوت یک مزرعه به مساحت حدود ۲۰۰۰ متر مربع انتخاب (نوارهایی به طول ۲۰۰ با عرض ۱۰ متر) و اندازه گیری های آب، خاک و گیاه در آنها انجام شد. در این راستا برخی از ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک منطقه حمیدیه بترتیب در جدول ۱ و ۲ ارائه شده است.

همانگونه که از نتایج جداول مشاهده می شود خاک مورد نظر لوم رسی (بافت سنگین) و از نظر شوری محدودیتی برای کاشت گندم ایجاد نمی کند. همچنین بمنظور بررسی کیفیت آب آبیاری، نمونه برداری از آب آبیاری مزارع منتخب انجام و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- میانگین برخی از ویژگی های فیزیکی خاک مزارع مورد مطالعه در حمیدیه

Table 1- Mean of Some soil physical properties of farms in Hamidiyeh

عمق Depth (cm)	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	بافت خاک Soil Texture	رطوبت حجمی	رطوبت حجمی	جرم مخصوص
					در ظرفیت زراعی Volumetric Moisture of Field capacity (%)	در نقطه پژمردگی Volumetric Moisture of Permanent wilting point (%)	ظاهری Bulk density (g cm ⁻³)
0-25	30	40	30	Clay Loam	31.9	19.0	1.48
25-45	37	40	23	Clay Loam	36.4	23.0	1.53
45-60	37	42	21	Clay Loam	36.4	23.0	1.53

جدول ۲- میانگین برخی از ویژگی های شیمیایی خاک مزارع مورد مطالعه در حمیدیه

Table 2- Mean of some soil chemical properties of fields in Hamidiyeh

عمق Depth (cm)	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS m ⁻¹)	نسبت جذبی سدیم Sodium Absorption ratio	اسیدیته pH	کربن آلی Organic carbon (%)	پتاسیم Potassium (mg Kg ⁻¹)	فسفر قابل دسترس Available phosphorus (mg Kg ⁻¹)	ظرفیت تبادل کاتیونی CEC (meq 100 g soil ⁻¹)
	0-25	4.5	4.3	7.8	0.5	190	4.2
25-45	5.0	5.1	7.8	0.3	169	2.0	24.3
45-60	5.4	5.4	7.8	0.2	161	0.8	20.6

جدول ۳- برخی ویژگی های کیفی آب آبیاری در پایلوت منتخب

Table 3- Some water quality characteristics of pilots

پایلوت Pilot	هدایت الکتریکی Electrical Conductivity (dS m ⁻¹)	اسیدیته pH	بی کربنات HCO ₃ ⁻¹ (meq l ⁻¹)	کلسیم Ca ⁺⁺ (meq l ⁻¹)	منیزیم Mg ⁺⁺ (meq l ⁻¹)	سدیم Na ⁺ (meq l ⁻¹)	نسبت جذبی سدیم Sodium Absorption ratio
	1	1.86	8.0	1.0	5.5	8.5	8.0
2	1.87	7.9	2.0	7.5	7.5	8.0	2.9
3	1.88	7.9	3.0	8.0	6.5	8.0	3.0
(Mean) میانگین	1.87	7.9	1.7	7.0	7.5	8.0	3.0

همانگونه از جدول ۳ ملاحظه می گردد کیفیت آب آبیاری از نظر شوری مناسب بوده و محدودیتی برای کاشت گندم ایجاد نمی نماید. براساس طبقه بندی ویلکوکس این آب در کلاس C3-S1 (شوری زیاد و نسبت جذبی سدیمی کم) قرار می گیرد. جهت آماده سازی قطعات زراعی ابتدا از دستگاه شخم و دیسک به منظور آماده سازی زمین استفاده و سپس با استفاده از دستگاه سانتریفیوژ اقدام به کشت گندم گردید. رقم گندم مورد استفاده چمران و محدوده تاریخ کاشت و برداشت گندم در پایلوت ها بترتیب ۱۵ آبان ماه و ۱ اردیبهشت ماه در هر دو سال زراعی بود. غالباً کشاورزان منطقه از کود اوره و در دو مقطع پنجه زنی و قبل از گلدهی به مقدار ۱۵۰ تا ۲۰۰ کیلوگرم درهکتار استفاده می کنند. کود پتاسیم و فسفر در منطقه استفاده چندانی نداشته و توسط غالب کشاورزان منطقه مصرف نمی گردد.

آمار و اطلاعات هواشناسی مورد نیاز مدل آکواکراپ از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک اهواز اخذ و پس از پردازش در راستای شبیه سازی عملکرد گندم توسط مدل در دو سال زراعی استفاده گردید. اطلاعات زراعی و فیزیولوژی گیاهی مورد نیاز در شبیه سازی عملکرد گندم توسط مدل آکواکراپ شامل درصد جوانه زنی، درصد پوشش گیاهی اولیه، 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 موثر ریشه ها، تعداد روز از کاشت تا رسیدن به ماکزیمم عمق ریشه ها، عملکرد کل، عملکرد دانه، شاخص برداشت، عملکرد خشک گیاهی در مزارع منتخب در هر دو سال تعیین و محدوده تغییرات آن در جدول ۴ ارائه شد.

جدول ۴- مراحل فیزیولوژی رشد گیاهی گندم در مزارع منتخب

Table 4- Physiological stages of wheat growth in pilots

محدوده تغییرات	اطلاعات گیاهی گندم
Range of variation	Wheat plant information
10-14	تعداد روز از کاشت تا ظهور گیاه Number of days from planting to emergence
95-105	تعداد روز از کاشت تا رسیدن به ماکزیمم پوشش Number of days from planting to maximum canopy cover
135-145	تعداد روز از کاشت تا پیر شدن برگها Number of days from planting to leaf senescence
160-170	تعداد روز از کاشت تا رسیدن Number of days from planting to ripening
10-14	طول دوره گلدهی (روز) Length of flowering stage(days)
105-115	تعداد روز از کاشت تا گلدهی Number of days from planting to flowering
0.3-0.4	ماکزیمم عمق ریشهها(متر) Maximum root depth (m)
100-110	تعداد روز از کاشت تا رسیدن به ماکزیمم عمق ریشهها Number of days from planting to maximum root depth

عموما تعداد ۵ نوبت آبیاری برای گندم در منطقه حمیدیه (پایلوت های مورد نظر) انجام شده که متوسط عمق آب آبیاری در هر نوبت در محدوده بین ۱۸۰ تا ۲۰۰ میلی متر و با فواصل یکماهه می باشد. همچنین دبی ورودی به نوارهای آبیاری حدود ۱۸ تا ۲۰ لیتر بر ثانیه و زمان آبیاری حدود ۴ تا ۵ ساعت می باشد. نتایج اندازه گیری های سال اول در راستای واسنجی مدل آکواکراپ انجام پذیرفته و نتایج سال دوم بمنظور ارزیابی و مقایسه نتایج شبیه سازی مدل با هدف اعتبار سنجی در حالت مدیریت معمول زارع و شرایط مناسب تغذیه ای مورد استفاده واقع شده است. شرایط حاصلخیزی پیلوت ها در سال دوم بر اساس توصیه کارشناسان تغذیه به صورت مناسب (بدون محدودیت تغذیه ای) بوده که مقادیر و زمان کوددهی بر اساس آزمون خاک و بر اساس جدول ۵ در اختیار پیلوت ها قرار گرفت.

جدول ۵- برنامه کود دهی و حاصلخیزی توصیه شده در پیلوت های اجرایی در سال دوم

Table 5- Fertilizer scheduling of pilots in second year

اسید هیومیک Humic acid (1 ha^{-1})	فلاویت FLa-Wheat (1 ha^{-1})	بذر مال Seed treatment (1 ha^{-1})	نیتروژن فسفر		سوپر فسفات		اوره Urea (Kg ha^{-1})	زمان time
			پتاسیمو جلبک NPK and Seaweed ۲۰-۲۰-۲۰ (Kg ha^{-1})	پتاسیمو جلبک NPK and Seaweed ۱۲-۱۲-۳۶ (Kg ha^{-1})	کامل میکرو Complete Micro (Kg ha^{-1})	تریپل Super phosphate triple (Kg ha^{-1})		
-	3	1	-	-	50	200	100	کاشت planting
15	-	-	-	-	-	-	100	پنجه زنی Tillering
-	-	-	10	-	-	-	-	ساقه دهی Stem elongation
-	-	-	-	10	-	-	-	گلدهی Flowering

بمنظور اندازه گیری عملکرد گندم در زمان برداشت، از هر پایلوت تعداد دو نمونه به صورت دستی برداشت و مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

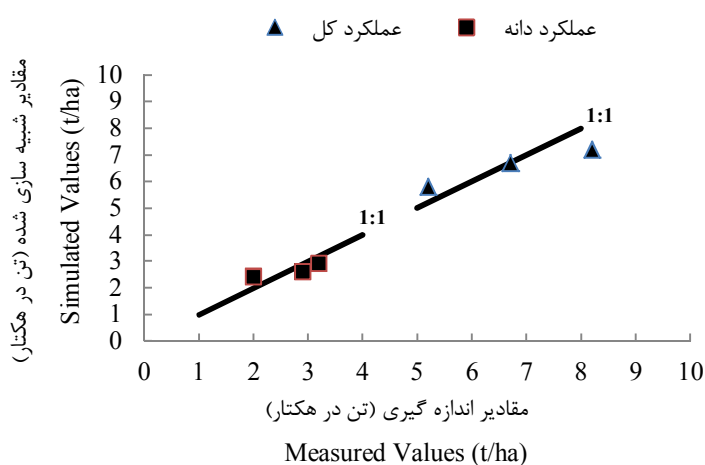
با استفاده از مدل ETo-Calc و بر اساس داده‌های هواشناسی روزانه از جمله دمای حداکثر، حداقل، رطوبت نسبی حداکثر و حداقل، ساعات آبیاری، سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، مقادیر تبخیر تعرق سطح مرجع بر اساس معادله پنمن مانیتث فائو برای دو دوره زمانی ۹۴ - ۹۳ و ۹۵ - ۹۴ تعیین و بعنوان ورودی مدل آکواکراپ در نظر گرفته شد. نتایج تغییرات عملکرد دانه، عملکرد کل و کارایی مصرف آب (سال اول) در شرایط اندازه‌گیری (شرایط معمول کشاورز از نظر کوددهی) و شبیه سازی در جدول ۶ ارائه گردیده است.

همانگونه که ملاحظه می‌گردد نتایج اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده پارامترهای مورد نظر در پایلوت‌های منتخب از درصد خطای پایینی برخوردارند. از این رو می‌توان چنین اظهار داشت که مدل آکواکراپ به منظور شبیه سازی عملکرد گندم در این منطقه (با در نظر گرفتن اقلیم، خاک، مدیریت آبیاری و حاصلخیزی) از کارایی مناسبی برخوردار است. شکل ۱ تغییرات مقادیر عملکرد دانه و کل گندم شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده را با خط یک به یک مقایسه می‌نماید. همانگونه که ملاحظه می‌گردد همخوانی و قرابت نزدیکی بین نتایج مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی شده با مدل آکواکراپ وجود دارد.

جدول ۶- تغییرات عملکرد دانه، عملکرد کل و کارایی مصرف آب در شرایط اندازه‌گیری و شبیه‌سازی

Table 6- Variation of total, grain yield and water use efficiency of measured and simulated data

پایلوت	مقادیر	عملکرد دانه گندم	عملکرد کل گندم	کارایی مصرف آب
Pilot	Factors	Grain yield (t ha ⁻¹)	Total yield (t ha ⁻¹)	Water use efficiency (Kg m ⁻³)
پایلوت ۱ (Pilot 1)	اندازه‌گیری شده (Measured)	2.0	5.2	0.22
	شبیه‌سازی شده (Simulated)	2.4	5.8	0.26
پایلوت ۲ (Pilot 2)	اندازه‌گیری شده (Measured)	3.2	8.2	0.34
	شبیه‌سازی شده (Simulated)	2.9	7.2	0.31
پایلوت ۳ (Pilot 3)	اندازه‌گیری شده (Measured)	2.9	6.7	0.31
	شبیه‌سازی شده (Simulated)	2.6	6.7	0.28
میانگین خطا % (Mean of Error %)		12.5	8.0	12.3



شکل ۱- تغییرات عملکرد دانه و عملکرد کل در شرایط اندازه‌گیری و شبیه‌سازی و مقایسه با خط ۱ : ۱

Figure 1- The variation of total and grain yield of measured and simulated data by line 1:1

جدول ۷- نتایج شبیه‌سازی شده عملکرد گندم در شرایط بدون تنش حاصلخیزی با مدل آکواکراپ

Table 7- Results of wheat simulated data in non-limited fertilizer condition by Aquacrop

عملکرد دانه گندم	عملکرد کل گندم	تبخیر- تعرق	کارایی مصرف آب
Grain yield (t ha ⁻¹)	Total yield (t ha ⁻¹)	Evapotranspiration(mm)	Water use efficiency (Kg m ⁻³)
میانگین (Mean)	4.3	320	0.46

نتایج شبیه‌سازی شده عملکرد گندم در حالت بدون محدودیت تغذیه‌ای و حاصلخیزی با مدل آکواکراپ در جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به مدیریت آبیاری معمول منطقه (۵ نوبت آبیاری در فصل کشت)، چنانچه محدودیت تغذیه‌ای وجود نداشته باشد مقدار عملکرد دانه شبیه سازی شده با مدل آکواکراپ به ۴/۳ تن در هکتار افزایش خواهد یافت. در این شرایط کارایی مصرف آب به ۰/۴۶ کیلوگرم دانه بر متر مکعب آب مصرفی افزایش پیدا می کند که نسبت به شرایط فعلی زارع (محدودیت حاصلخیزی) به میزان ۵۸ درصد افزایش یافته است. نظر به اعمال شرایط بدون محدودیت تغذیه‌ای در سال دوم در پایلوت‌های مورد نظر، نتایج تغییرات اندازه گیری شده عملکرد در جدول ۸ ارائه شده است.

جدول ۸- نتایج اندازه گیری شده عملکرد گندم در شرایط مناسب حاصلخیزی در پایلوت های منتخب

Table 8- Results of wheat measured data in non-limited fertilizer condition

پایلوت	تکرار	عملکرد دانه تن در هکتار Grain yield t ha ⁻¹	عملکرد کل تن در هکتار Total Yield t ha ⁻¹
Pilot	Replication		
پایلوت ۱ (Pilot 1)	1	4.5	12.5
	2	4.4	12.5
پایلوت ۲ (Pilot 2)	1	4.2	11.5
	2	4.4	12.0
پایلوت ۳ (Pilot 3)	1	4.5	12.0
	2	4.9	13.0
میانگین (Mean)		4.5	12.2

نتیجه گیری کلی

مدل آکواکراپ مدلی جامع به منظور شبیه سازی مدیریت آب و تغذیه در گیاهان بوده که عموماً بخش مرتبط با آبیاری آن بیشتر مورد توجه و ارزیابی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده در این تحقیق نشان داد که عملکرد گندم شبیه سازی شده در سال اول در شرایط معمول زارع حدود ۲/۶ تن در هکتار بوده که حدود ۵ درصد با میانگین عملکرد اندازه گیری شده تفاوت دارد. همچنین نتایج شبیه سازی شده با مدل آکواکراپ برای شرایط بدون محدودیت تغذیه ای نشان داد که امکان افزایش عملکرد دانه گندم تا ۴/۳ تن در هکتار میسر بوده است. نتایج اعتبارسنجی سال دوم نشان داد که در صورت اعمال شرایط بدون محدودیت حاصلخیزی عملکرد اندازه گیری شده دانه گندم تا ۴/۵ تن در هکتار افزایش مییابد که با نتایج حاصله از شبیه سازی مدل همخوانی قابل قبولی دارد. نتایج حاصل شده از این پژوهش نشان می‌دهد که مدل آکواکراپ قابلیت و توانایی مناسبی در شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط مختلف حاصلخیزی داشته و نتایج آن با مقادیر اندازه‌گیری شده همخوانی و قرابت بالایی دارد.

با توجه به نتایج اندازه‌گیری شده در سال دوم که بمنظور اعتبارسنجی مدل آکواکراپ و مقایسه آن با نتایج سال اول انجام گرفته ملاحظه می‌گردد، در شرایطی که محدودیت تغذیه ای وجود نداشته باشد امکان افزایش عملکرد دانه گندم تا ۴/۵ تن در هکتار وجود داشته که این با نتایج شبیه سازی شده در سال اول از مدل آکواکراپ (۴/۳ تن در هکتار) نزدیک بوده و درصد خطای آن حدود ۴ درصد می باشد. این مطلب بیانگر این است که مدل آکواکراپ در شرایط اعمال و بررسی مدیریت های حاصلخیزی از کارایی بالایی برخوردار بوده و نتایج قابل قبولی را برای گندم ارائه و در شرایط مشابه قابل کاربرد و تعمیم می باشد.

Alizadeh, H.A., Nazari, B., Parsinejad, M., Ramezani, H., and Janbaz, H.R. 2010. Evaluation of AquaCrop Model on Wheat Deficit Irrigation in Karaj area. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 2(4):273-283.

Arvaeh, A., and Abbasi, F. 2014. Calibration and validation of the AquaCrop model for canola in the field. *Iranian water research journal*, 14(8):9-17. (In Persian).

Andarziyan, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M.E., and Rahnama, A. 2011. Validation and testing of the Aqua Crop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*, 100: 1-8.

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)

Bitri, M., Grazhdani, S., and Ahmeti, A. 2014. Validation of the aquacrop model for full and deficit irrigation potato production in environmental conditions of Korca zone, south-eastern Albania. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 3(5): 12013-12020.

Farahani, H., Ganbariella, I., and Theiby, O. 2009. Parameterization and evaluation of the aquacrop model for full and deficit irrigated cotton. *Agronomy Journal*, 101(3): 469-476.

Ganbari, A., and Tavassoli, A. 2013. Simulation of wheat yield using AquaCrop model in Shirvan region. *International journal of Agriculture and Crop Sciences*, 6(6): 342-352.

García-Vila M., Fereres E., Mateos L., Orgaz F., and Steduto P. 2009. Deficit irrigation optimization of cotton with aquacrop. *Agronomy Journal*, 101: 477-487.

Ghorbanian Kour Abadi, M., Liaghat, A.M., Vatankhah, E., and Noory, H. 2015. Simulation of yield and evapotranspiration of forage maize using AquaCrop model. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4(2):1-85. (In Persian).

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.

Heng L.K., Hsiao T.C., Evett S., Howell T., and Steduto, P. 2009. Validating the FAO aquacrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*, 101: 488–498.

Hsiao T.C., Hneg L.K., Steduto P., Rojas-Lara B., Raes, D., and Fereres E. 2009. Aquacrop the fao crop model to simulate yield responseto water: iii. parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*, 101:448-459.

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.

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).

Mehraban, A. 2013. Simulation of wheat yield by AquaCrop model. *International Journal of Farming and Allied Science*, 2(21): 938- 943.

Raes, D., Steduto, P., Hsiao T.C., and Fereres, E. 2017. Reference manual AquaCrop, FAO, Land and Water Division, Rome, Italy, 25p.

Saadati, Z., Pirmoradian, N., and Rezaei, M. 2011. Calibration and evaluation of AquaCrop model in rice growth simulation under different irrigation managements, ICID 21.13st International Congresson Irrigation and Drainage, Tehran, Iran, pp.589–600.

Salemi, H. Mohd soom, M. A., Shui Lee, T., Mousavi, S.F., Ganji, A., Kamil Yussof, M. 2011. Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of winter wheat in arid region. *African Journal of Agricultural Research*, 610: 2204-2415.

Stricevic, R., Dzeletovic, Z., Djurovic, N., and Cosic, M. 2014. Application of the AquaCrop model to simulate the biomass of *Miscanthus x giganteus* under different nutrient supply conditions. *Global Change Biology Bioenergy*, 7(6):1203-1210.

Tavakoli. A.R., Liaghat A., and Alizadeh, A. 2014. Soil water balance, sowing date and wheat yield using aquacrop model under rainfed and limited irrigation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(4):41-56. (In Persian).

Zhang, W., 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):821-828.

Evaluation of Aquacrop Model for predicting wheat yield in different fertilizer managements

Mohammad Reza Emdad^{1*}, Arash Tafteh¹, Alireza Jafarnejadi²

1-Assistant professor, irrigation and soil physics department, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.

2-Associated professor, Soil and Water Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Ahwaz, Iran.

Abstract

Lack of supply fertilizer (on time and sufficient quantities) affects wheat yield. On the other hand, in most of the Khozestan soils, soil organic carbon is very low and fertilizer management is very poor. The climatic data required in Aquacrop model was collected from synoptic meteorological weather station of Ahvaz. In this research, to different fertilizer management including regular fertilizer management by farmer and non-limited fertilizer for wheat production has been considered. Based on farm management and phenological stage of wheat plant, grain yield is measured and compared with the results that simulated by Aquacrop model. In the first year, effect of different fertilizer management (optimal nutritional condition) and farmer fertilizer management in three pilots of Hamidiyeh was investigated. After that simulation and validation of data has been conducted using Aquacrop model. In the second year two fertilizer management including farmer and non-limited fertilizer management were used for data verification and compared with that resulted in first year. The average wheat yield in regular fertilizer that measured and simulated by Aquacrop model were about 2.7 and 2.6 ton/h respectively. Data simulation of wheat yield showed a close result with measured data in field condition. The results of second year showed that in non-limited fertilizer condition, the wheat yield in measured and simulation condition by Aquacrop are 4.5 and 4.3 t/h respectively (with 5% error). These results demonstrated that Aquacrop model has high performance and ability for crop yields simulation in different fertilizer managements.

Keywords: Fertilizer management, Yield simulation, Wheat, Crop model.