مدیریت آب و آبیاری
دوره ۹ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۸
صفحه‌های ۱۰۷-۹۵

ارزیابی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد گندم و تعیین تاریخ کشت در استان فارس

محمدهادی جرعه‌نوش[۱]، سعید بروموندنسب[۲*]، عبدعلی ناصری[۲]، مجتبی پاک‌پرور[۳]، صالح تقواییان[۴]
۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲. استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۳. استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، شیراز، ایران.
۴. استادیار، بخش بیوسیستم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه ایالتی اوکلاهما، استیلواتر، امریکا.
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰

چکیده

با کاربرد مدل آکواکراپ، پوشش تاجی، زیست‌توده، عملکرد دانه و تاریخ کشت گندم تحت کم‌آبیاری در زرقان و داراب در استان فارس شبیه‌سازی شد. سال زراعی ۹۵-۹۴ برای واسنجی و دو سال زراعی ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶ برای صحت‌سنجی مدل به‌کار برده شد. رطوبت، پوشش تاجی، زیست‌توده و عملکرد دانه، برای تعیین پارامترهای واسنجی در سال اول استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل واسنجی‌شده، دقت بالایی در شبیه‌سازی پوشش تاجی، زیست‌توده و عملکرد دانه نشان داد. مقادیر ضریب باقیمانده، نرمال جذر میانگین مربعات خطا، شاخص توافق و ضریب تعیین در داراب برای پوشش تاجی به‌ترتیب ۰/۰۳، ۰/۲۲، ۹۶ و ۹۲ درصد، برای زیست‌توده به‌ترتیب ۰/۱۰-، ۰/۲۴، ۹۲ و ۹۲ درصد و برای عملکرد دانه به‌ترتیب ۰/۰۳-، ۰/۰۶، ۸۰ و ۸۲ درصد به‌دست آمد. این مقادیر در زرقان برای پوشش تاجی به‌ترتیب ۰/۰۶، ۰/۲۵، ۹۱ و ۸۹ درصد، برای زیست‌توده به‌ترتیب ۰/۰۸-، ۰/۲۴، ۹۱ و ۸۷ درصد و برای عملکرد دانه به‌ترتیب ۰/۰۲-، ۰/۱۱ ، ۷۱ و ۸۶ درصد به‌دست آمد. با اجرای مدل در سناریوهای مختلف اقلیمی، تاریخ کشت و کم‌آبیاری مشخص شد حداکثر تأخیر در تاریخ کشت در داراب ۱۵ آذرماه و در زرقان ۱۵ آبان‌ماه است. کاهش ۲۵ درصدی آب آبیاری، عملکرد دانه در سال‌های مرطوب، نرمال و خشک را به‌ترتیب تا ۳، ۱۷ و ۲۸ درصد و کاهش ۵۰ درصدی آب آبیاری، مقدار آن را به‌ترتیب تا ۱۵، ۲۷ و ۴۵ درصد کاهش داد.

کلیدواژه‌ها: پوشش تاجی، داراب، زرقان، زیست‌توده.

AquaCrop evaluation to simulate wheat production and plantig date in Fars province

Mohammad Hadi Jorenush[1], Saeed Boroomand Nasab[2*], Abd Ali Naseri[2], Mojtaba Pakparvar[3], Saleh Taghvaeian[4]
1. Ph.D. Candidate of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2. Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Soil Conservation and Watershed Management Research, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Shiraz, Iran.
4. Assistant Professor, Department of Biosystems and Agricultural Engineering, Oklahoma State University, Stillwater, USA.
Received: September 11, 2019 Accepted: December 01, 2019

Abstract

Wheat canopy cover, biomass, grain yield and planting date under deficit irrigation were simulated by AquaCrop in Darab and Zarghan of Fars province. The 2015-2016 growing season and 2016-2017 and 2017-2018 growing seasons were used for model calibration and validation, respectively. Water content, canopy cover, biomass and grain yield were used to determine the calibration parameters in the first year. The calibrated model showed high accuracy in simulating canopy cover, biomass and grain yield. CRM, NRMSE, d and R^2 in Darab were 0.03, 0.22, 96 percent and 92 percent for canopy cover, -0.10, 0.24, 92 prcent and 92 percent for biomass, and - 0.03, 0.06, 80 percent and 82 percent for grain yield, respectively. In Zarghan, these values were 0.06, 0.25, 91 percent and 89 percent for canopy cover, -0.08, 0.24, 91 percent and 87 percent for biomass and -0.02, 0.11, 71 persent and 86 percent for grain yield, respectively. Model application in different scenarios showed that the maximum delay in planting date is 5th November in Zarghan and 5th December in Darab. Grain yield was reduced to 3, 17 and 28 percent in 25 percent irrigation reduction and 15, 27 and 45 in 50 percent irrigation reduction in wet, normal and dry years, respectively.

Keywords: Biomass, Canopy cover, Darab, Zarghan.

* نویسنده مسئول
Email: s.boroomandnasab@gmail.com

مقدمه

مهم‌ترین محصول کشاورزی در ایران گندم است و به همین دلیل مدیریت صحیح مزارع گندم، نقش مهمی در امنیت غذایی و کشاورزی پایدار در کشور دارد. منبع اصلی غذای مردم در ایران، گندم و فرآورده‌های آن است و هر اقدامی برای بالابردن عملکرد محصول گندم با توجه به منابع محدود آب و خاک ضروری است (۳). مدل‌های گیاهی در جهت بهینه‌سازی عوامل مدیریتی، اجازه شبیه‌سازی محصول را می‌دهند و قابلیت کارکرد سناریوهای مختلف را دارند. یکی از مدل‌های گیاهی پرکاربرد، مدل آکواکراپ[1] است که برای محدوده وسیعی از محصولات زراعی شامل محصولات علوفه‌ای، سبزیجات، غلات، میوه‌ها، محصولات روغنی و غده‌ای می‌تواند به‌کار گرفته‌شود. (۲۳). مدل آکوکراپ در تحقیقات مختلفی در مناطق مختلف، در شبیه‌سازی محصول گندم به‌کار رفته است. در یک تحقیق، مدل آکواکراپ در شرایط کم‌آبیاری گندم در منطقه باتلاق گاوخونی اصفهان به‌کار رفت. مدل، با دقت بالایی پوشش تاجی و عملکرد را شبیه‌سازی نمود. البته مدل در هر دو مورد دارای بیش برآوردی بود (۱۸). در تحقیقی دیگر، مدل آکواکراپ برای گندم دیم، در شرایط تغییرات اقلیمی در شیراز، توانست پیش‌بینی قابل قبولی از عملکرد گندم در شرایط نوسانات اقلیمی ارائه دهد (۲۰). نتایج مطالعه‌ای دیگر در دهلی هندوستان نشان داد که مدل آکواکراپ، دقت قابل‌قبولی در شبیه‌سازی عملکرد دانه، زیست‌توده و کارایی مصرف آب در ارقام مقاوم و غیرمقاوم به شوری گندم دارد. در این تحقیق مشخص شد که توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد بیش از دو پارامتر دیگر است (۱۶). در تحقیقی دیگر، مدل آکواکراپ در پیش‌بینی عملکرد محصول گندم زمستانه، رطوبت و شوری نیم‌رخ خاک، تحت تنش‌های شوری و آبی ارزیابی شد. نتایج مطالعه نشان داد که مدل، در پیش‌بینی شوری عصاره اشباع خاک در مقایسه با رطوبت خاک و عملکرد دانه خطای بیش‌تری دارد (۷). در شبیه‌سازی عملکرد گندم با استفاده از مدل آکواکراپ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی سیساب خراسان شمالی نشان داده شد که مدل با دقت بالایی، قابلیت پیش‌بینی عملکرد محصول در شرایط دیم را دارد (۶). در ارزیابی مدل آکواکراپ در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست‌توده گندم زمستانه تحت تنش آبی در لپویی فارس مشخص شد که مدل، در پیش‌بینی عملکرد دانه و زیست‌توده، دارای دقت قابل قبولی است (۵). پژوهشگران، در شبیه‌سازی عوامل گیاهی گندم با مدل آکواکراپ در منطقه کرج، نشان دادند که با افزایش دور آبیاری از ۷ به ۱۴ روز دقت مدل در تخمین عملکرد و کارایی مصرف آب کاهش می‌یابد (۱۰). با کاربرد مدل آکواکراپ برای گندم بهاره در مشهد، مقادیر عملکرد محصول، زیست‌توده، کارآیی مصرف آب با دقت بالا و مقادیر شاخص برداشت، رطوبت و شوری نیم‌رخ خاک، با دقت کم‌تر شبیه‌سازی شد. هم‌چنین مشخص گردید که دقت پیش‌بینی مدل با افزایش تنش‌های شوری و خشکی کاهش می‌یابد (۱۱). در حمیدیه خوزستان، مدل آکواکراپ برای گندم به‌کار رفت. در این تحقیق، مدل آکواکراپ قابلیت و کارایی بالایی در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم در مدیریت‌های مختلف کودی داشت (۴).

با توجه به گستردگی تحقیقات ذکرشده روی مدل آکواکراپ در مناطق مختلف، این مدل باید برای هر منطقه، با شرایط خاص آن منطقه واسنجی شود تا نتایج قابل‌قبولی حاصل شود. دو منطقه داراب و زرقان در استان فارس، اهمیت ویژه‌ای از نظر کشت گندم داشته و پایلوت آزمایشات به‌زراعی و به‌نژادی مؤسسه تحقیقات بین‌المللی

1. AquaCrop, V.6, March 2018, http://www.fao.org/nr/water/aquacrop.html

ذرت و گندم (سیمیت) نیز می‌باشند. کاربرد مدل اکواکراپ در مناطق با تشابه اقلیمی موجب می‌شود با صرف زمان و هزینه کم‌تر از این مدل استفاده نمود. مدل آکواکراپ، قبلاً در داراب و زرقان مورد ارزیابی قرار نگرفته و با بررسی انجام‌شده، منطقه با اقلیم و رژیم بارندگی مشابه نیز، که مدل آکواکراپ در کشور در آن واسنجی شده باشد یافت نشد. با کاربرد مدل اکواکراپ واسنجی‌شده در سناریوهای مختلف اقلیمی، تاریخ بهینه کشت گندم به‌عنوان یکی از مهم‌ترین سؤالات زارعین در این دو منطقه نیز موردبررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های کشت گندم آبی پاییزه در سه فصل زراعی ۹۵-۹۴، ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶ در در داراب و زرقان در استان فارس استفاده شد. یک مزرعه در داراب و یک مزرعه در زرقان از مزارع ایستگاه تحقیقات کشاورزی انتخاب شد که اطلاعات مورد نیاز جهت اجرای مدل آکواکراپ در آنها در دسترس بود. تعداد داده‌های برداشت‌شده و تکرار نمونه‌برداری‌ها در مزارع، مربوط به آب، خاک و گیاه در ادامه آمده‌است. موقعیت جغرافیایی مزرعه مورد مطالعه در داراب ′۱۷ °۵۴ شرقی و ′۴۷ °۲۸ شمالی با ارتفاع ۱۰۹۸ متر و در زرقان ′۴۲ °۵۲ شرقی و ′۴۶ °۲۹ شرقی با ارتفاع ۱۶۰۴ متر از سطح دریا بود. مزارع انتخابی در داراب و زرقان به‌ترتیب با مساحت ۵/۲ و ۳/۸ هکتار، از مزارع ایستگاه‌های تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی داراب و زرقان است. مقادیر روزانه دمای حداکثر و حداقل، رطوبت نسبی حداقل و حداکثر، بارندگی و ساعات آفتابی در هر سال زراعی از ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک داراب و زرقان اخذ شد. در جدول (۱) برخی از عوامل هواشناسی در درازمدت و در سه سال زراعی دوره تحقیق آمده است.

رقم گندم مورداستفاده در انجام این تحقیق در دو مزرعه داراب و زرقان، رقم سیروان از ارقام معرفی شده مؤسسه تحقیقات اصلاح بذر و نهال وزارت جهاد کشاورزی برای مناطق خشک و نیمه‌خشک، به مقدار ۲۰۰ تا ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار کشت شد. تراکم دانه در مترمربع ۳۵۰ تا ۴۰۰ دانه بود. زمان کاشت و برداشت گندم در سه سال زراعی در مزرعه داراب و زرقان در جدول (۲) آمده است.

جدول ۱. متوسط برخی از عوامل هواشناسی در ایستگاه داراب و زرقان در دوره بلندمدت و سه سال زراعی مورد مطالعه

عامل	داراب				زرقان			
	دراز مدت	۹۵-۹۴	۹۶-۹۵	۹۷-۹۶	دراز مدت	۹۵-۹۴	۹۶-۹۵	۹۷-۹۶
دمای حداکثر (°C)	۲۷	۲۶	۲۵	۲۶	۲۴	۲۳	۲۲	۲۳
دمای حداقل (°C)	۱۳	۱۰	۱۰	۹	۸	۶	۶	۶
بارندگی (mm)	۲۶۳	۱۷۲	۱۹۶	۱۰۰	۳۱۶	۲۸۱	۲۷۴	۱۲۸
رطوبت نسبی (%)	۴۹	۴۶	۴۷	۴۶	۵۲	۴۹	۵۳	۴۸

جدول ۲. زمان کاشت و برداشت گندم در سه سال زراعی در مزارع مورد مطالعه

سایت	زمان کاشت			زمان برداشت		
	۹۵-۹۴	۹۶-۹۵	۹۷-۹۶	۹۵-۹۴	۹۶-۹۵	۹۷-۹۶
داراب	۹۴/۹/۱۶	۹۵/۹/۱۷	۹۶/۹/۲	۹۵/۳/۱۰	۹۶/۳/۱۱	۹۷/۳/۵
زرقان	۹۴/۹/۳	۹۵/۸/۲۵	۹۶/۸/۲۰	۹۵/۳/۳۰	۹۶/۳/۲۹	۹۷/۳/۳۰

خصوصیات فیزیکی خاک از طریق نمونه‌برداری از خاک مزارع، به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر در فواصل ۳۰، ۶۰ و ۹۰ سانتی‌متری از سطح خاک تعیین‌شد (جدول ۳). در هر مزرعه پنج نمونه جهت تعیین خصوصیات خاک گرفته شد. خصوصیات هیدرولیکی خاک با استفاده از تابع هدایت هیدرولیکی تعیین گردید (۱۹). منبع آب آبیاری در داراب و زرقان، آب زیرزمینی بود که در استخر آب ذخیره شده و از طریق سیستم پمپاژ به‌صورت سطحی در ایستگاه زرقان و به‌صورت سیستم بارانی کلاسیک نیمه‌متحرک در ایستگاه داراب در اختیار مزرعه قرار گرفت. مقادیر آبیاری انجام‌شده در این مزارع بین ۵۱۰۰ تا ۵۸۰۰ مترمکعب در هکتار متغیر بود. نمونه‌های آب آبیاری در هر سال زراعی جهت تعیین هدایت الکتریکی گرفته‌شد که در سه سال زراعی در دو منطقه حداکثر ۱/۹ دسی‌زیمنس بر متر بود.

مدل آکواکراپ

مدل آکواکراپ، نسخه شش، به‌عنوان یکی از مدل‌های گیاهی پرکاربرد، براساس رطوبت موجود در خاک به‌خوبی اثر تنش آبی بر ماده خشک و عملکرد دانه تولیدی گیاه را در سراسر دوره رشد درنظر می‌گیرد. شبیه‌سازی در مدل آکواکراپ در چهار گام انجام می‌گیرد (۲۳). در گام اول، توسعه پوشش تاجی گیاه از توسعه منطقه ریشه مجزا می‌شود. گام دوم، شبیه‌سازی تعرق گیاهی بوده و گام سوم، شبیه‌سازی زیست‌توده از رابطه زیراست:

$$B = K_{sb} WP^* \sum \frac{T_r}{ET_o}$$ رابطه (۱)

در این رابطه، B عملکرد روزانه زیست‌توده، K_{sb} ضریب تنش کاهش دما، WP^* مقدار نرمال‌شده بهره‌وری آب، T_r تعرق روزانه و ET_o تبخیرتعرق پتانسیل گیاه مرجع می‌باشد. در گام چهارم نیز، عملکرد دانه از رابطه زیر شبیه‌سازی می‌شود:

$$Y = f_{HI} HI_o B$$ رابطه (۲)

در این رابطه، Y عملکرد، f_{HI} ضریب تنظیم اثر تنش آب یا دما، HI_o شاخص برداشت مرجع در شرایط بدون تنش و B مقدار زیست‌توده است.

مقادیر اندازه‌گیری‌شده مزرعه‌ای در این تحقیق، رطوبت خاک، عملکرد دانه، زیست‌توده و پوشش تاجی بود. رطوبت خاک در زمان‌های آبیاری فقط در سال زراعی ۹۵-۹۴ با روش نمونه‌برداری وزنی از اعماق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر اندازه‌گیری شد. در سه سال زراعی، پوشش تاجی و زیست‌توده، سه بار در طول فصل رشد و عملکرد دانه در انتهای فصل رشد اندازه‌گیری شد.

جدول ۳. برخی از خصوصیات فیزیکی خاک در دو مزرعه موردمطالعه در لایه‌های مختلف

سایت	عمق (cm)	بافت خاک	رطوبت نقطه پژمردگی (-)	رطوبت ظرفیت زراعی (-)	رطوبت اشباع (-)	هدایت هیدرولیکی اشباع (cm/hr)
	۰ تا ۳۰	رسی لومی	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۴۶	۰/۲۵
داراب	۳۰ تا ۶۰	رسی لومی	۰/۱۵	۰/۱۸	۰/۴۴	۰/۲۴
	۶۰ تا ۹۰	رسی	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۵۰	۰/۱۰
	۰ تا ۳۰	سیلتی رسی لومی	۰/۳۲	۰/۳۵	۰/۴۵	۰/۱۴
زرقان	۳۰ تا ۶۰	سیلتی رسی لومی	۰/۲۸	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۱۳
	۶۰ تا ۹۰	رسی	۰/۴۳	۰/۴۴	۰/۵۲	۰/۱۲

زیست‌توده گیاه گندم با برداشت نمونه‌های تصادفی نیم‌درنیم مترمربعی با دو تکرار در هر هکتار و ۳ تا ۵ بار در هر نمونه‌گیری تعیین شد. به این ترتیب که نمونه‌ها از بالای سطح خاک گرفته شد و به آزمایشگاه منتقل گردید. نمونه‌ها به‌مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد در آون نگهداری شد و وزن آنها پس از گذشت ۴۸ ساعت ثبت گردید. برای تعیین عملکرد دانه در هر مزرعه، ۳ نمونه در کادر یک در یک مترمربعی در پایان دوره رشد در زمان رسیدن دانه گرفته شد. در تعیین پوشش تاجی، از دوربین دیجیتال[1] در فاصله عمودی ۱/۵ متری از سطح مزرعه استفاده شد. به این منظور در هر نمونه‌برداری تصویری، سه تکرار صورت گرفت و تصاویر در نرم‌افزار ENVI [2] تحلیل گردید. یکی از قابلیت‌های این نرم‌افزار این است که درصد رنگ سبز تصاویر را با طبقه‌بندی نظارت‌شده از سوی کاربر با تفکیک رنگ سبز از سایر رنگ‌ها تعیین می‌کند که درصد پوشش تاجی در هر تصویر است.

تحلیل حساسیت

برای تحلیل حساسیت مدل از رابطه زیر استفاده شد (۱۴):

رابطه (۳) $$Sc = \left|\frac{P_m - P_b}{P_b}\right|$$

در این رابطه، Sc ضریب حساسیت (بدون بعد)، P_m مقدار برآوردشده پارامتر موردنظر براساس داده‌های ورودی تعدیل‌شده و P_b مقدار برآورد آن پارامتر براساس داده‌های ورودی پایه است. به این ترتیب که در هر مرحله یکی از عوامل ورودی مدل به مقدار ۲۵ درصد کاهش و افزایش داده شد و بقیه پارامترها ثابت گرفته شد تا حساسیت مدل نسبت به آن پارامتر تعیین شود. میزان حساسیت در این روش با توجه به جدول (۴) تعیین می‌شود.

جدول ۴. معیار تعیین حساسیت براساس پارامتر Sc

	Sc>۱۵	۲<Sc<۱۵	Sc<۲
میزان حساسیت	بالا	متوسط	پایین

واسنجی و صحت‌سنجی مدل

در این تحقیق، اطلاعات سال زراعی ۹۵-۹۴ به‌عنوان مبنای واسنجی مدل و اطلاعات سال زراعی ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶ به‌عنوان مبنای صحت‌سنجی مدل در نظر گرفته‌شد. در ابتدا، مدل با تغییر حداکثر پوشش تاجی، بهره‌وری آب نرمال‌شده، شاخص برداشت مرجع، حداکثر ضریب تعرق و حداکثر عمق ریشه واسنجی شد به‌طوری‌که خطای نسبی بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده پوشش تاجی، زیست‌توده و عملکرد، حداقل شود. سپس تغییر ضرایب تنش آبی برای توسعه پوشش تاجی، بسته‌شدن روزنه‌ها و پیری برای واسنجی رفت. در مرحله بعد، پس از تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای ورودی خاک، با تغییر پارامترهای رطوبت ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی، اشباع و ضریب آب‌گذری اشباع و با استفاده از داده‌های رطوبتی، مدل جهت شبیه‌سازی رطوبت خاک واسنجی گردید، به‌طوری‌که خطای نسبی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده رطوبت، حداقل شود. هم‌زمان بایستی خطای نسبی بین پوشش تاجی، زیست‌توده و عملکرد اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده، نیز حداقل می‌شد.

کاربرد مدل صحت‌سنجی‌شده در سناریوهای مختلف تاریخ کاشت و کم‌آبیاری

مدل آکواکراپ صحت‌سنجی‌شده، برای برآورد تأثیر سه

1. SX700HS, Canon Inc, Japan
2. ENVI, V5.1, Exelis Visual Information Solutions, Inc

تاریخ کشت و سه حالت کم آبیاری بر عملکرد دانه محصول گندم، استفاده شد. براساس اطلاعات محلی در مورد تاریخ کاشت، سه تاریخ کشت ۱۵ آبان‌ماه، ۱۵ آذرماه و ۱۵ دی‌ماه، به‌ترتیب به‌عنوان تاریخ کشت زود، متوسط و دیرهنگام انتخاب شد. هم‌چنین سه مقدار آبیاری به میزان ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی، به‌عنوان مقادیر مختلف حالت کم‌آبیاری در مناطق موردمطالعه در نظر گرفته شد. باید توجه داشت که اعمال کم‌آبیاری خصوصاً در روش‌های آبیاری سطحی مشکل است و جهت کاربردی‌نمودن نتایج حاصله از مدل، بایستی در مدیریت اجرای کم‌آبیاری دقت نمود. اجرای کم‌آبیاری در روش‌های آبیاری تحت فشار، به‌علت کنترل مکانیزه این روش‌ها، با مدیریت بهتری قابل انجام است. مقدار آب آبیاری ۵۰۰۰ مترمکعب در هکتار به‌عنوان مقدار کل آب لازم و مقادیر بلندمدت عوامل هواشناسی از سال ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ در هر منطقه به‌عنوان مقادیر ورودی هواشناسی به‌کار گرفته شد. خصوصیات خاک لومی رسی و سیلتی رسی لومی نیز به‌ترتیب به‌عنوان خاک غالب در داراب و زرقان، در مدل به‌کار رفت (۹). سال‌های مختلف از نظر بارش در هر منطقه براساس بارندگی همان منطقه، به سه گروه طبقه‌بندی شد. به این ترتیب که براساس روش چارک‌بندی، سال‌های با مقدار بارندگی بیش‌تر از چارک بالا، بین چارک سه‌چهارم و یک‌چهارم و کم‌تر از چارک یک‌چهارم به‌ترتیب به‌عنوان سال‌های مرطوب، معمولی و خشک درنظرگرفته شد.

برای ارزیابی نتایج حاصل از مدل آکوکراپ، در شبیه‌سازی رطوبت، پوشش تاجی، زیست‌توده و عملکرد دانه، در این تحقیق از آماره‌های نرمال جذر میانگین مربعات خطا[1] (NRMSE)، ضریب باقیمانده[2] (CRM) و شاخص توافق[3] (d) به‌صورت زیر استفاده شد (۲۴):

1. Normalize Root Mean Square Erroa
2. Coefficient of Residual Mass
3. Index of agreement

$$NRMSE = \frac{1}{\overline{O}}\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n}O_i - \sum_{i=1}^{n}P_i}{\sum_{i=1}^{n}O_i} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(|P_i - \overline{O}| + |O_i - \overline{O}|\right)^2} \quad \text{رابطه (۶)}$$

در این رابطه‌ها، O_i و P_i به‌ترتیب مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده، $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده و n تعداد مشاهدات است.

نتایج و بحث

نتایج تحلیل حساسیت

در جدول ۵ نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل آکواکراپ برای شبیه‌سازی گندم در دو مزرعه داراب و زرقان آمده است. از حیث عوامل هواشناسی بررسی‌شده، مدل نسبت به دمای حداکثر و حداقل در هر دو منطقه حساسیت متوسط و نسبت به بارندگی حساسیت کمی دارد. تغییر دمای حداکثر در این مناطق در حد متوسط، خطای حاصل از شبیه‌سازی را افزایش می‌دهد. در تحقیقات قبلی روی شبیه‌سازی با مدل آکواکراپ، حساسیت مدل نسبت به بارندگی و دمای حداقل، کم و نسبت به دمای حداکثر در حد متوسط بود (۱، ۱۱). درخصوص پارامترهای خاک، حساسیت مدل نسبت به رطوبت ظرفیت زراعی، نقطه پژمردگی، رطوبت اشباع و هدایت هیدرولیکی اشباع در هر دو منطقه به‌خصوص در شرایط اشباع در حد کم تا متوسط است که با پژوهش‌های انجام‌شده قبلی نیز مطابقت دارد (۱۱). بیش‌ترین حساسیت مدل آکواکراپ در هر دو منطقه داراب و زرقان، نسبت به تغییر شاخص برداشت مرجع بود. مدل، نسبت به کاهش این پارامتر حساسیت بالایی دارد و باید در واسنجی آن دقت نمود. پس از آن، بهره‌وری آب نرمال‌شده و ضریب گیاهی

تعرق دارای حساسیت بالایی است و خطا در تعیین این پارامترها باعث بروز خطا در شبیه‌سازی می‌شود. این مدل دارای حساسیت کم نسبت به ضریب رشد پوشش، حدبالای آستانه دما و زمان کاشت تا جوانه‌زنی است. نتایج تحلیل حساسیت مدل آکواکراپ به این پارامترها در پژوهش‌های پیشین نیز، با نتایج کنونی همخوانی دارد (۱، ۲، ۱۱ و ۱۸).

با این‌که میزان حساسیت پارامترهای مختلف در دو منطقه داراب و زرقان به هم نزدیک است، اما به هرحال دارای تفاوت است که نشان می‌دهد این مدل در دو منطقه مختلف، دارای رفتارهای متفاوتی نسبت به یک پارامتر است و شرایط محلی هر منطقه بر میزان حساسیت هر پارامتر تأثیرگذار است. البته با توجه به مقایسه نتایج تحلیل حساسیت در این تحقیق و مطالعات انجام‌شده قبلی در اقلیم گرم و مرطوب، سرد و خشک مشخص می‌شود که مدل آکوکراپ، حساسیت بالایی نسبت به پارامترهای ضریب گیاهی تعرق، بهره‌وری آب نرمال‌شده و شاخص برداشت مرجع دارد (۱، ۲، ۱۱ و ۱۸).

جدول ۵. ضریب حساسیت برخی از عوامل ورودی مدل آکواکراپ برای شبیه‌سازی گندم در داراب و زرقان

پارامتر ورودی	داراب			زرقان		
	مقدار Sc در ٪۲۵+	مقدار Sc در ٪۲۵−	درجه حساسیت	مقدار Sc در ٪۲۵+	مقدار Sc در ٪۲۵−	درجه حساسیت
دمای حداقل	۱/۹	۱/۶	کم	۱/۸	۱/۷	کم
دمای حداکثر	۰/۸	۳/۱	کم-متوسط	۳/۵	۴/۲	متوسط
بارندگی	۰/۵	/۶	کم	۰/۵	۰/۷	کم
رطوبت ظرفیت زراعی	۱۴/۲	۱/۹	متوسط-کم	۷/۶	۴/۴	متوسط
رطوبت نقطه پژمردگی	۱/۸	۱/۵	کم	۲/۳	۱/۹	متوسط-کم
رطوبت اشباع	۰/۳	۰/۵	کم	۱/۱	۰/۸	کم
هدایت هیدرولیکی اشباع	۰/۱	/۲	کم	۰/۱	۰/۱	کم
ضریب گیاهی تعرق (KcTrx)	۱۲/۴	۱۸/۳	متوسط-بالا	۱/۹	۱۹/۷	کم-بالا
عمق موثر ریشه	۲/۵	۰/۸	متوسط-کم	۰/۵	/۹	کم
حداکثر پوشش تاجی	۶/۹	۵/۳	متوسط	۱۱/۱	۹/۴	متوسط
ضریب رشد پوشش (CGC)	۱/۵	۰/۷	کم	۱/۴	۱/۹	کم
بهره‌وری آب نرمال‌شده (WP^*)	۱۹/۳	۱۴/۹	بالا-متوسط	۱۸/۸	۲۱/۳	بالا
شاخص برداشت مرجع (HI_o)	۲۱/۲	۱۸/۹	بالا	۲۳/۱	۲۴/۳	بالا
زمان کاشت تا جوانه‌زنی	۱/۱	۰/۸	کم	۰/۵	۱/۴	کم
زمان کاشت تا حدکثر پوشش	۵/۳	۴/۲	متوسط	۷/۱	۳/۴	متوسط
زمان کاشت تا گلدهی	۲/۸	۲/۹	متوسط	۲/۵	۴/۱	متوسط
زمان کاشت تا پیری	۱/۸	۵/۲	کم-متوسط	۸/۶	۵/۳	متوسط
طول دوره گلدهی	۵/۹	۷/۱	متوسط	۴/۷	۰/۶	متوسط-کم
حد آستانه بالای دما	۰/۴	۰/۱	کم	۰/۱	۰/۲	کم

واسنجی مدل آکواکراپ

در جدول ۶ آماره‌های شبیه‌سازی رطوبت در دومنطقه داراب و زرقان آمده است. با توجه به مقادیر جدول ۶، مدل با دقت بالایی رطوبت ناحیه ریشه را شبیه‌سازی نموده است و این دقت در داراب بیش‌تر از زرقان بوده‌است. پژوهش‌گران در یک پژوهش نشان دادند که مدل آکواکراپ دارای دقت بالایی در تخمین مقادیر رطوبت در کشت گندم در اقلیم سرد و خشک در مشهد بوده است. مقادیر نرمال جذر میانگین مربعات خطا و شاخص توافق مربوط به شبیه‌سازی رطوبت در آن پژوهش به‌ترتیب ۰/۱۲ و ۹۳ درصد بود (۱۱). در تحقیقی دیگر در اقلیم گرم و مرطوب در اهواز، با کاربرد مدل آکواکراپ، رطوبت ناحیه ریشه گندم با دقت بالایی شبیه‌سازی شد. مقادیر نرمال جذر میانگین مربعات خطای گزارش‌شده در آن پژوهش کم‌تر از ۱۰ درصد بود (۱۲). مقدار ضریب باقیمانده گزارش‌شده در مراکش با شرایط اقلیمی گرم و خشک، در برآورد آب خاک با مدل آکواکراپ ۰/۱۷ بود (۲۲). بالابودن مقدار ضریب تعیین[1] (R^2) در تحقیق حاضر، نشان‌دهنده نزدیکی مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده رطوبت و پراکندگی کم آنها در اطراف خط یک‌به‌یک است. مقدار ضریب تعیین در جدول ۶، در داراب بیش‌تر از زرقان است که نشان‌دهنده شبیه‌سازی با دقت بیش‌تر است. در پژوهشی دیگر، در شبیه‌سازی رطوبت با مدل آکواکراپ، مقادیر ضریب تعیین نزدیک مقادیر این مطالعه گزارش شده است (۱۱). در کاربرد مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی رطوبت خاک در گیاه گندم در منطقه‌ای نیمه‌حاره‌ای در کشور کانادا مقادیر شاخص توافق برابر ۰/۹۹ و ضریب تعیین برابر ۹۰ درصد به‌دست آمد که دقت بالاتری از تحقیق حاضر را نشان می‌دهد (۱۷). مقادیر شاخص توافق در شبیه‌سازی رطوبت با مدل آکواکراپ در مطالعه‌ای در چین نیز بین ۰/۸۵ تا ۰/۹۰ به‌دست آمد که به مقادیر حاصله از پژوهش حاضر نزدیک است (۱۳).

جدول ۶. آماره‌های مقایسه بین رطوبت اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده گندم با مدل آکواکراپ در مرحله واسنجی

آماره‌ها	واحد	داراب	زرقان
NRMSE	-	۰/۱۰	۰/۱۵
CRM	-	۰/۰۳	۰/۰۵
D	%	۹۱	۸۳
R^2	-	۰/۸۸	۰/۸۴

مقادیر گیاهی واسنجی‌شده جهت کاربرد در مدل آکواکراپ در دو منطقه داراب و زرقان، در جدول ۷ آمده است. این مقادیر، در محدوده مقادیر مطالعات قبلی و هم‌چنین مقادیر مرجع مدل آکواکراپ در مورد گیاه گندم می‌باشد (۶، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۸، ۲۰ و ۲۱). در جدول ۷ مقادیر پیش‌فرض مدل آکواکراپ برای گیاه گندم که توسط توسعه‌دهندگان مدل آکواکراپ ارائه شده است، نیز آمده است (۲۱). پارامترهای دمای پایه، حداقل عمق ریشه، ضریب گیاهی برای تعرق، ضرایب تخلیه رطوبتی پوشش تاجی، فاکتور ضریب شکل پوشش تاجی و زمان ظهور جوانه همان مقدار پیش‌فرض مدل به‌دست آمد و سایر پارامترها در واسنجی مدل با مقداری تغییرات تعیین گردید.

مدل آکواکراپ با درنظرگرفتن عوامل واسنجی جدول ۷ و ورود اطلاعات هواشناسی، خاک، آب و گیاه در هر منطقه در سال زراعی ۹۵-۹۴ واسنجی و سپس در سال زراعی ۹۶-۹۵ و ۹۷-۹۶ صحت‌سنجی شد. در جدول ۸ عوامل آماری مقایسه بین مقادیر پوشش تاجی، زیست‌توده و عملکرد اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده با مدل آکواکراپ در مزارع، در مراحل واسنجی و صحت‌سنجی آمده است.

1. Determination coefficient

جدول ۷. مقادیر گیاهی استفاده‌شده در مدل آکواکراپ برای گندم در مرحله واسنجی

عامل	واحد	مقدار پیش‌فرض مدل	مقدار	
			داراب	زرقان
دمای پایه حداقل	°C	۰	۰	۰
دمای پایه حداکثر	°C	۲۶	۲۶	۲۶
حداکثر عمق ریشه	M	۱/۵	۱	۱
حداقل عمق ریشه	M	۰/۳	۰/۳	۰/۳
پوشش تاجی اولیه، CC_0	cm^2	۶/۷۵	۱/۵	۱/۸
ضریب رشد پوشش تاجی، CGC	day%	۸	۵/۸	۹
ضریب کاهش پوشش تاجی، CDC	day%	۹	۹	۵/۹
حداکثر پوشش تاجی	درصد	۹۶	۹۴	۹۴
شاخص برداشت مرجع	درصد	۴۸	۴۶	۴۵
بهره‌وری آب نرمال‌شده	g/m^2	۱۵	۱۹	۱۷
ضریب گیاهی تعرق، $K_{C\,Tr,X}$	day٪	۱/۱	۱/۱	۱/۱
آستانه بالای تخلیه رطوبتی برای توسعه پوشش، P_{upper}	–	۰/۲	۰/۲	۰/۲
آستانه پایین تخلیه رطوبتی برای توسعه پوشش، P_{lower}	–	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵
فاکتور شکل ضریب تنش آبی برای توسعه پوشش	–	۵	۵	۵
آستانه بالای ضریب تخلیه رطوبتی خاک برای کنترل روزنه‌ها	–	۰/۶۵	۵۵/۰	۵۱/۰
فاکتور شکل ضریب تنش آبی خاک برای کنترل روزنه‌ها	–	۲/۵	۳/۲	۲/۵
آستانه بالای ضریب تنش آبی برای پیری	–	۰/۷	۷۵/۰	۷۵/۰
ضریب شکل منحنی تنش آبی خاک برای پیری	–	۲/۵	۳/۲	۴/۲
زمان کاشت تا ظهور جوانه	روز	۱۲	۱۲	۱۲
زمان کاشت تا گلدهی	روز	۸۱	۹۵	۹۶
زمان کاشت تا رسیدن	روز	۱۰۰	۱۰۵	۱۰۷
زمان کاشت تا بلوغ	روز	۱۴۲	۱۴۰	۱۴۰

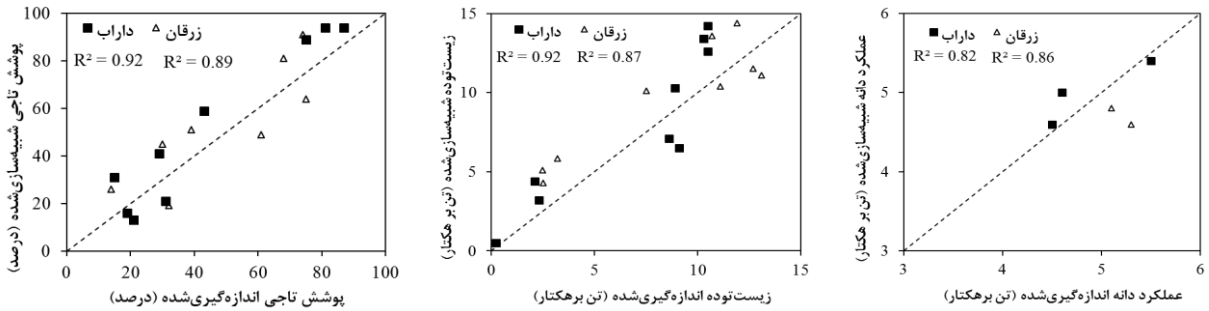
جدول ۸. آماره‌های مقایسه بین مقادیر پوشش تاجی، زیست‌توده و عملکرد دانه اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده گندم

	آماره‌ها	واحد	داراب			زرقان		
			پوشش تاجی	زیست‌توده	عملکرد دانه	پوشش تاجی	زیست‌توده	عملکرد
واسنجی	CRM	–	۰/۰۹	-۰/۱۹	۰/۰۲	۰/۰۸	-۰/۱۳	۰/۰۶
	NRMSE	–	۰/۲۰	۰/۱۸	–	۰/۲۳	۰/۲۱	–
	d	%	۹۴	۹۳	–	۸۹	۹۲	–
صحت‌سنجی	CRM	–	۰/۰۳	-۰/۱۰	-۰/۰۳	۰/۰۶	-۰/۰۸	-۰/۰۲
	NRMSE	–	۰/۲۲	۰/۲۴	۰/۰۶	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۱۱
	d	%	۹۶	۹۲	۸۰	۹۱	۹۱	۷۱

با توجه به مقادیر جدول ۸، مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده دقت بالاتری از پوشش تاجی و عملکرد دانه داشته‌است. هم‌چنین، دقت مدل واسنجی‌شده در داراب در شبیه‌سازی‌ها، بیش‌تر از دقت مدل واسنجی‌شده در زرقان بوده است. مدل، دارای مقادیر ناچیز بیش‌برآوردی و کم‌برآوردی بوده‌است که بیش‌ترین مقدار در حالت بیش برآوردی مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده بوده‌است (۰/۱۹- = ضریب باقیمانده). قبلاً، مقدار ضریب باقیمانده در شبیه‌سازی عملکرد گندم در منطقه‌ای با شرایط نیمه‌حاره‌ای در کانادا نیز ۰/۰۳ گزارش شده بود (۱۷). شاخص توافق در بیش‌تر حالات مقدار بالایی را نشان داده است و کم‌ترین مقدار آن ۷۱ درصد در شبیه‌سازی عملکرد دانه بوده است. در تحقیقی دیگر در سوریه، مقدار شاخص توافق در شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده پنبه توسط مدل آکواکراپ، ۰/۹۸ گزارش شد (۱۵). مقدار شاخص توافق درشبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده گندم در شرایط سرد و خشک در مشهد نیز بین ۹۰ تا ۹۸ درصد گزارش شده است (۱۱).

در یک مطالعه در شبیه‌سازی عملکرد گندم با مدل آکواکراپ در اقلیم نیمه‌مرطوب در کرج، مقادیر نرمال جذر میانگین مربعات خطا کم‌تر از ۰/۱۹ و شاخص توافق به مقدار ۰/۹۶ گرارش شد. در اهواز کاربرد مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی گندم، مقادیر نرمال جذر میانگین مربعات خطا کم‌تر از ۱۰ درصد را حاصل کرد (۱۲). مقادیر نرمال جذر میانگین مربعات خطا و شاخص توافق در شبیه‌سازی عملکرد گندم با کاربرد داده‌های پنج سال زراعی در سیساب خراسان به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۸۷ درصد ارائه شد (۶). مقادیر نرمال جذر میانگین مربعات خطا در تحقیق حاضر در همه موارد کم‌تر از ۰/۳ بوده که دقت تخمین در این محدوده قابل‌قبول می‌باشد. مقادیر کم‌تر از ۰/۲ این آماره نیز دقت بالای شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

مقادیر ضریب تعیین و پراکندگی نقاط حول خط یک به یک در شکل (۱)، نزدیکی مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده را نشان می‌دهد. دقت مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه کم‌تر از زیست‌توده و پوشش تاجی بوده است. مقادیر ضریب تعیین در شبیه‌سازی زیست‌توده و عملکرد گندم با مدل آکواکراپ در مشهد، بین ۰/۶۹ تا ۰/۹۴ گزارش شد (۱۱)، درحالی‌که مقدار این آماره در شبیه‌سازی عملکرد گندم در کانادا ۰/۶۹ به‌دست آمد (۱۷). مقادیر پوشش تاجی، زیست‌توده و عملکرد دانه نزدیک خط یک به یک پراکندگی دارند و در هر سه پارامتر ضریب تعیین نمودار نزدیکی مقادیر اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده در داراب و زرقان را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول (۵) و شکل (۱)، مدل در داراب، شبیه‌سازی را با دقت بیش‌تری نسبت به زرقان انجام داده‌است.



شکل ۱. مقایسه مقادیر پوشش تاجی، زیست‌توده و عملکرد دانه اندازه‌گیری‌شده و شبیه‌سازی‌شده با خط ۱:۱

کاربرد مدل در سناریوهای مختلف تاریخ کشت، اقلیم و آبیاری

عملکرد دانه، در سه تاریخ کشت ۱۵ آبان‌ماه، ۱۵ آذرماه و ۱۵ دی‌ماه و سه حالت آبیاری ۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی با مدل آکواکراپ صحت‌سنجی‌شده، برآورد شد. در تمام حالات آبیاری و سناریوهای اقلیمی، با نزدیک‌شدن تاریخ کشت از ۱۵ آبان‌ماه به ۱۵ آذرماه، عملکرد دانه در داراب افزایش و در زرقان کاهش یافت. از طرفی با نزدیک‌شدن تاریخ کشت از ۱۵ آذرماه به ۱۵ دی‌ماه، عملکرد دانه هم در داراب و هم در زرقان کاهش یافت. تاریخ کاشت تا ۱۵ آبان‌ماه در زرقان و تا ۱۵ آذرماه در داراب عملکرد بالاتر و تأخیر بیش از این تاریخ در کاشت گندم، کاهش عملکرد را دربر دارد. براساس اطلاعات محلی مدیریت جهاد کشاورزی، زارعین در زرقان از ۲۵ مهرماه تا ۳۰ آبان‌ماه و در داراب از ۲۰ آبان‌ماه تا ۳۰ آذرماه اقدام به کشت گندم می‌نمایند. با توجه به نتایج حاصله از مدل و اطلاعات محلی کارشناسان جهاد کشاورزی، تاریخ کشت از ۲۵ مهرماه تا ۱۵ آبان‌ماه در زرقان و ۲۰ آبان‌ماه تا ۱۵ آذرماه در داراب توصیه می‌شود. نتایج حاصل از تأثیر کاربرد سناریوهای مختلف کم‌آبیاری بر عملکرد دانه نیز در جدول (۹) آمده است. نتایج این جدول مربوط به میزان کاهش عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده با مدل آکواکراپ در شرایط کم‌آبیاری است که در هر مزرعه در هر حالت اقلیمی و کم‌آبیاری برای سه تاریخ کشت اجرا شده است.

محدوده اعداد موجود در جدول (۹) حد بالا و پایین کاهش عملکرد در اثر کم‌آبیاری در سه تاریخ کشت است. این جدول، نتایج اجرای مدل در سناریوهای مذکور در این مزارع را نشان می‌دهد و جهت بررسی آماری در خصوص معنی‌دار بودن تأثیر پارامترها، بایستی مدل در این سناریوها در مزارع مختلف اجرا گردد. در مطالعه‌ای روی عملکرد گندم در سناریوهای مختلف اقلیمی در اهواز نیز، پیشنهاد انتخاب واریته‌های سازگار با تغییر اقلیم شد (۸). با توجه به جدول (۹)، شبیه‌سازی عملکرد دانه در مدل آکواکراپ در این دو مزرعه نشان داده است که در سال‌های مرطوب، کاهش ۲۵ درصدی آب آبیاری در کشت گندم در این مزارع، تأثیر ناچیزی در کاهش عملکرد دارد. هم‌چنین با قبول حداکثر ۱۵ درصد کاهش محصول، می‌توان مقدار آب آبیاری را نصف نمود. در سال‌های نرمال مقادیر درصد کاهش عملکرد در اثر کاهش میزان آبیاری، بالاتر است و به‌ترتیب به ۲۵ و ۲۷ درصد در زرقان و داراب می‌رسد. کم‌آبیاری در سال‌های خشک، تأثیر بالاتری در کاهش عملکرد دارد که می‌تواند منجر به ۴۰ تا ۴۵ درصد کاهش محصول شود. در پژوهش‌های قبل نیز کاهش عملکرد گندم شبیه‌سازی‌شده با مدل آکواکراپ در شرایط تنش آبی در مناطق نیمه‌مرطوب، سرد و خشک و گرم و مرطوب گزارش شده‌است (۱۰، ۱۱ و ۱۲).

جدول ۹. درصد کاهش عملکرد دانه شبیه‌سازی‌شده با مدل آکواکراپ در سناریوهای مختلف آبیاری

سناریوی اقلیمی	داراب		زرقان	
	۲۵ درصد کم‌آبیاری	۵۰ درصد کم‌آبیاری	۲۵ درصد کم‌آبیاری	۵۰ درصد کم‌آبیاری
مرطوب	۰-۳	۱۲-۱۵	۰-۲	۷-۱۲
نرمال	۱۳-۱۷	۲۰-۲۷	۱۰-۱۵	۱۸-۲۵
خشک	۲۳-۲۸	۳۵-۴۵	۲۰-۲۵	۳۰-۴۰

نتیجه‌گیری

ارزیابی مدل آکواکراپ برای گیاهان رایج در یک منطقه نقش مهمی در مقایسه عملکرد محصول در شرایط مختلف دارد. گندم یکی از محصولات استراتژیک در کشور بوده و استان فارس نیز به‌عنوان یکی از قطب‌های تولید این محصول در کشور مطرح است. در این تحقیق توانایی مدل آکواکراپ نسخه شش در برآورد پوشش تاجی، عملکرد و زیست‌توده گندم در داراب و زرقان به‌عنوان دو منطقه اصلی تولید گندم در استان فارس مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی این عوامل در داراب و زرقان است. دقت مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده بیش‌تر از پوشش تاجی و عملکرد بود و مدل واسنجی‌شده در داراب، دقت بالاتری در شبیه‌سازی نسبت به زرقان داشت. هم‌چنین مدل با دقت بالایی مقادیر رطوبت در دو منطقه را در مرحله واسنجی شبیه‌سازی نمود. آماره‌های حاصله از مقایسه مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده، نشان از دقت بالای مدل در شبیه‌سازی‌ها داشت گرچه این دقت در شبیه‌سازی عملکرد دانه کم‌تر بود.

با اجرای مدل واسنجی‌شده در سناریوهای مختلف اقلیمی، تاریخ کشت و کم‌آبیاری در دومنطقه، مشخص شد جهت دستیابی به عملکرد بهینه، تاریخ کشت گندم نباید از ۱۵ آبان‌ماه در زرقان و ۱۵ آذرماه در داراب تجاوز کند. هم‌چنین مشخص شد کاهش ۲۵ درصدی آب آبیاری عملکرد دانه در سال‌های مرطوب، نرمال و خشک را به‌ترتیب تا ۳، ۱۷ و ۲۸ درصد و کاهش ۵۰ درصدی آب آبیاری، مقدار آن را به‌ترتیب تا ۱۵، ۲۷ و ۴۵ درصد کاهش می‌دهد. مدل آکواکراپ مدلی فراگیر و قابل‌استفاده در گیاهان مختلف است و با وجود سادگی و نیاز به اطلاعات ورودی کم، دارای دقت بالایی در شبیه‌سازی است و می‌توان از آن برای مدیریت آبی و زراعی مزارع گندم در داراب و زرقان در سناریوهای مختلف آب، خاک، اقلیم و گیاه استفاده نمود.

منابع

۱. ابراهیمی‌پاک ن.، اگدرنژاد ا. و خدادادی دهکردی د. (۱۳۹۷) ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت تیمارهای کم‌آبیاری و کاربرد سطوح مختلف سوپرجاذب. مهندسی آبیاری و آب. ۸(۳۱): ۱۸۴-۱۶۶.

۲. ابراهیمی‌پاک ن. و اگدرنژاد ا. (۱۳۹۶) ارزیابی و تحلیل حساسیت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند تحت تنش‌های آبی در شهرکرد. مدیریت آب و آبیاری. ۷(۲): ۳۳۱-۳۱۹.

۳. احمدی ک.، قلی‌زاده ح.، عبادزاده ح.، حسین‌پور ر.، عبدشاه ه.، کاظمیان آ. و رفیعی م. (۱۳۹۶) آمارنامه کشاورزی (محصولات زراعی). وزارت جهادکشاورزی. ۱: ۵-۲۰.

۴. امداد م.، تافته آ. و جعفرنژادی ع (۱۳۹۷) بررسی و ارزیابی مدل آکواکراپ در برآورد عملکرد گندم در مدیریت‌های مختلف کشاورزی. پژوهش‌نامه کشاورزی. ۱۰(۲): ۶۱-۴۱.

۵. امیری ا.، بحرانی ع.، خورسند ا. و حق جو م (۱۳۹۴) ارزیابی مدل AquaCrop در پیش بینی عملکرد دانه و بیوماس گندم تحت تنش کم آبی. دانش آب و خاک. ۲۵(۴/۲): ۲۲۹-۲۱۷.

۶. خلیلی ن.، داوری ک.، علیزاده ا.، کافی م. و انصاری ح (۱۳۹۳) شبیه‌سازی عملکرد گندم با استفاده از مدل گیاهی آکواکراپ، مطالعه موردی ایستگاه تحقیقات کشاورزی سیساب، خراسان شمالی. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۲۸(۵): ۹۳۹-۹۳۰.

۷. خورسند ا.، وردی نژاد و. و شهیدی ع (۱۳۹۳) ارزیابی مدل AquaCrop در پیش بینی عملکرد گندم، رطوبت و شوری نیمرخ خاک تحت تنش های شوری و کم آبی. مدیریت آب و آبیاری. ۴(۱): ۱۰۴-۸۹.

۸. دلقندی م.، مساح بوانی ع.، آجرلو م. ج.، برومندنسب س. و اندرزیان ب (۱۳۹۳) ارزیابی ریسک تأثیرات اقلیم بر عملکرد و فیزیولوژی رشد گندم (مطالعه موردی: شهرستان اهواز). مدیریت آب و آبیاری. ۴(۲): ۱۷۵-۱۶۱.

۹. زارعیان غر (۱۳۸۹) الگوهای مکانی بافت خاک سطحی در مناطق دارای کشت گندم آبی در استان‌های فارس، خوزستان و گلستان. چاپ اول، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، گزارش فنی شماره ۸۳۰۱۲، ۹۵ صفحه.

۱۰. علیزاده ح.، نظری ب.، پارسی‌نژاد م.، رمضانی اعتدالی ه. و جانباز ح (۱۳۹۸) ارزیابی مدل AquaCrop در مدیریت کم‌آبیاری گندم در منطقه کرج. آبیاری و زهکشی ایران، (۴): ۲۸۳-۲۷۳.

۱۱. محمدی م.، داوری ک.، قهرمان ب.، انصاری ح. و حق وردی ا (۱۳۹۴) واسنجی و صحت‌سنجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد گندم بهاره تحت تنش همزمان شوری و خشکی. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹(۳): ۲۹۵-۲۷۷.

12. Andarzian B, Bannayan M, Steduto P, Mazraeh H, Barati ME, Barati MA 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.
13. Anjum Iqbal M, Shen Y, Stricevic R, Pei H, Sun H, Amiri E, Penas A, Penas A and 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.
14. Geerts S, Raes D, Garcia M, Miranda R, Cusicanqui JA, 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.
15. Hussein F, Janat M and Yakoub A (2011) Simulating cotton yield response to defcit irrigation with the FAO AquaCrop model. *Spanish Journal of Agricultural Research* 9(4): 1319-1330.
16. Kumar P, Sarangi A, Singh DK and Parihar SS (2014) Evaluation of AquaCrop model in predicting wheat yield and productivity under irrigated saline regimes. *Irrigation and Drainage* 63: 474-487.
17. Mkhabela MS and Bullock PR (2012) Performance of the FAO AquaCrop model for wheat grain yield and soil moisture simulation in Western Canada. *Agricultural Water Management* 110: 16-24.
18. Salemi H, Mohd Soom MA, Lee TS, Mousavi SF, Ganji A and Kamil Yusoff M (2011) Application of AquaCrop model in deficit irrigation management of winter wheat in arid region. *African Journal of Agricultural Research* 610: 2204-2215.
19. Saxton KE and Rawls WJ (2006) Soil water characteristic estimates by texture and organic matter for hydrologic solutions. *Soil Science Society of America* 70: 1569-1578.
20. Shamsnia SA and Pirmoradian N (2013) Simulation of rainfed wheat yield response to climatic fluctuations using AquaCrop model (case study: Shiraz region in southern of Iran). International Journal of Engineering Science Invention 2(4) 51-56.
21. Steduto P, Hsiao TC, Raes D and Fereres E (2009) AquaCrop-The FAO crop model to simulate yield response to water. Agronomy Journal 101: 426-437.
22. Toumi J, Er-Raki S, Ezzahar J, Khabba S, Jarlan L and Chehbouni 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 163 219-236.
23. Vanuytrecht E (2014) AQUACROP: FAO crop water productivity yield response model. *Environmental Modelling and Software* 62: 351-360.
24. Willmott CJ (1982) Some comments on the evaluation of model performance. Bulletin of the *American Meteorological Society* G3: 1309-1313.