19th Iranian Soil Science Congress
16-18 September, 2025

نوزدهمین کنگره علوم خاک ایران
۲۵ تا ۲۷ شهریور ۱۴۰۴

مدیریت جامع‌نگر و هوشمند خاک و آب
Holistic and Smart Soil and Water Management

۰۴۲۵۰-۳۲۰۳۱

دانشکدگان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
College of Agriculture & Natural Resources, University of Tehran

مدل‌سازی بهره‌وری مصرف آب کینوا با استفاده از AquaCrop

عاطفه صیادی شهرکی*[۱]، بیژن حقیقتی[۲]، محمود محمدی[۲]، زهره مصلح قهفرخی[۲]

۱-محقق بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران؛ * (Sayadi.Atefeh@gmail.com)

۲- استادیار بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران.

چکیده

مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی از ابزارهای بسیار مهم در مطالعه و بررسی سیستم‌های کشاورزی بوده و از آن‌ها می‌توان به منظور شبیه‌سازی عملکرد گیاهان در شرایط مختلف به‌خوبی استفاده کرد. با توجه به اینکه بررسی عوامل محدود کننده عملکرد نیاز به انجام تحقیقات و آزمایش‌های متعدد و هزینه‌بر در مناطق مختلف دارد، بنابراین یافتن راهی برای کاهش تعداد، زمان و هزینه انجام این آزمایش‌ها، مورد توجه می‌باشد. هدف از پژوهش حاضر، شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا با استفاده از مدل AquaCrop در ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته شهرکرد واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. بدین منظور، کم‌آبیاری به‌صورت ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده و سه مرحله رشد اولیه (I)، توسعه (D)، میانی (M) و پایانی (F) در نظر گرفته و شبیه‌سازی مقدار بهره‌وری مصرف آب، انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین بهره‌وری مصرف آب کینوا به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و تیمار ۷۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه، مشاهده شد. همچنین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل AquaCrop قرابت و همخوانی مناسبی را با یکدیگر داشته‌اند. همچنین آماره‌های محاسبه شده بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده هم نشان دهنده کارایی و دقت بالای مدل AquaCrop را در شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب کینوا می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، عملکرد، کم‌آبیاری.

مقدمه

چنان‌چه پیش‌بینی افزایش جمعیت کره زمین به میزان یک سوم تا سال ۲۰۵۰ درست باشد، برای تامین امنیت غذایی مردم کره زمین، تولید فرآورده‌های غذایی باید دو برابر گردد. این افزایش جمعیت در کنار تغییر سبک زندگی بشریت فشار بر بخش کشاورزی را بیش از پیش نموده است. در حقیقت کشاورزی ناچار است که بازدهی استفاده از منابع طبیعی را افزایش دهد که معنای آن تولید بیشتر محصول به ازای واحد آب مصرفی و واحد سطح زمین می‌باشد (Ragab, 2015).

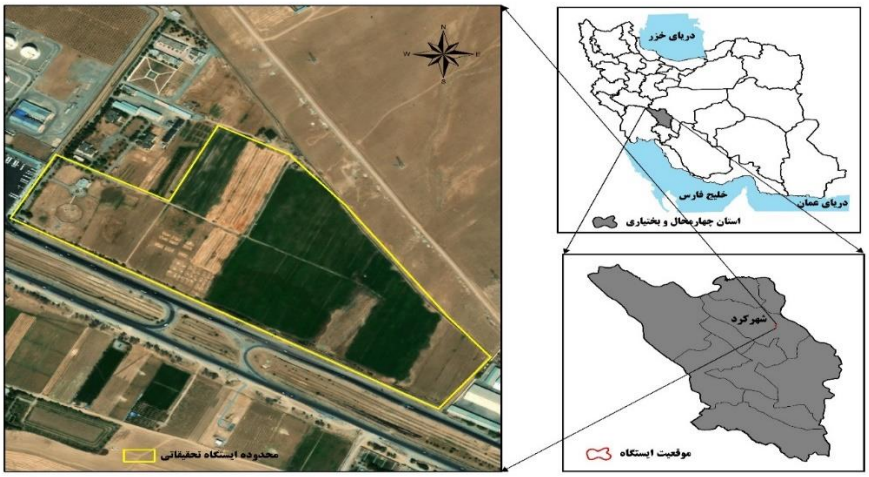
بهره‌وری مصرف آب به معنای استفاده بهینه از منابع آبی و کاهش هدررفت آب در مصارف مختلف است. این مفهوم در بخش‌های مختلفی مانند کشاورزی، صنعت و مصارف خانگی کاربرد دارد و هدف آن افزایش تولید یا خدمات با مصرف کمتر آب است. در بخش کشاورزی، بهره‌وری آب به تولید بیشتر محصول با مصرف آب کمتر اشاره دارد. به طور کلی، افزایش بهره‌وری مصرف آب به معنای استفاده هوشمندانه‌تر از منابع آبی محدود و کاهش هدررفت آب در تمام بخش‌های مصرف است که به حفظ منابع آبی و توسعه پایدار کمک می‌کند. استفاده از مدل‌ها برای شبیه‌سازی این پارامتر و مقایسه نتایج آن با مقادیر اندازه‌گیری شده، بسیار مورد توجه پژوهشگران می‌باشد. شبیه‌سازی مراحل رشد گیاه و درنتیجه پیش‌بینی عملکرد

محصول، منجر به برنامه‌ریزی بهتر و مدیریت کاراتر در روند تولید محصول خواهد شد. در دهه‌های اخیر مدل‌های زیادی جهت شبیه‌سازی رشد محصولات زراعی و مدیریت آب و خاک ارائه شده است و محققین در تحقیقات مختلف از این مدل‌ها استفاده می‌کنند (Hoogenboom et al., 2004). یکی از اهداف مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی، استفاده از آن‌ها برای پیش‌بینی عملکرد محصول می‌باشد. مدل‌های مختلفی برای این منظور توسعه داده شده و توسط محققین مختلف به‌کاررفته‌اند. در سال ۲۰۰۹، فائو مدل شبیه‌سازی AquaCrop را بر اساس معادله دورنباس و کاسام و به‌همراه تصحیحاتی بر آن ارائه داد، که مقیاس محاسبات در آن بر اساس گام روزانه می‌باشد (Steduto et al., 2009). ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۸)، به ارزیابی دقت مدل AquaCrop نسبت به دو مدل گیاهی WOFOST و CropSyst به‌منظور شبیه‌سازی گیاه زراعی کلزا پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که کارایی و دقت مدل AquaCrop بسیار مناسب بود و به‌دلیل سادگی و محیط کاربری راحت‌تر نسبت به دو مدل گیاهی مذکور، به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب کلزا بهتر است. گلابی و همکاران (۱۴۰۲)، عملکرد و زیست‌توده کینوا تحت مدیریت‌های مختلف زراعی را با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد کارایی مدل AquaCrop مطلوب و دقت آن عالی می‌باشد. همچنین کاربرد این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی کینوا پیشنهاد می‌شود، گر چه خطای آن برای کشت مستقیم در اواسط و انتهای آبان کمتر از سایر شرایط بود.

کینوا گیاه جدیدی است که تا کنون در ایران تحقیقات اندکی در خصوص آن انجام گرفته است. کینوا یک گیاه مقاوم به خشکی و شوری معرفی شده است که در شرایط مختلف خاک و اقلیم قابلیت رشد و تولید محصول را دارد. با توجه به اهمیت کینوا به عنوان یک گیاه زراعی مقاوم به خشکی و شوری و همچنین وسعت رو به افزایش زمین‌های شور و نیز با توجه به کاهش و کمبود منابع آب کشور و نیز کاهش کیفیت آن، ضروری است با توجه به ارزش غذایی این گیاه روی موضوعات نیاز آبی، عملکرد و بهره‌وری مصرف آب و نیز مناسب‌ترین مدیریت آبیاری آن در شرایط کم آبیاری تحقیقات جامعی به‌منظور ارائه و توسعه کشت این محصول انجام پذیرد. در این مقاله به مدل‌سازی بهره‌وری مصرف آب کینوا با استفاده از AquaCrop در ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته شهرکرد واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر به مدت دو سال در ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته شهرکرد واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری در ۵ کیلومتری شرق شهرکرد با مختصات جغرافیایی ′۳۲°۱۸ عرض شمالی و ′۵۵ °۵۰ طول شرقی با ارتفاع ۲۰۹۰ متر از سطح دریا و با اقلیم منطقه‌ای نیمه مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد به اجرا درآمد (شکل ۱).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه- ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته شهرکرد

قبل از کشت آزمون خاک در مزارع مورد مطالعه در دو سال آزمایش انجام شد که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است. همچنین برخی از خصوصیات آب آبیاری مزرعه کینوا در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- برخی از مشخصات فیزیک و شیمیایی مزرعه کینوا

سال	عمق خاک	شن	سیلت	رس	بافت خاک	FC	PWP	pH	OC	فسفر	پتاسیم	نیتروژن کل	منگنز	EC
	(سانتی‌متر)	٪	٪	٪	-	%	%	-	%	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	mg/Kg	dS/m
اول	۰-۳۰	۳۴/۵	۴۳/۵	۲۲	لوم	۲۵/۰۱	۹/۵	۷/۸	۰/۷	۱۱/۲	۲۶۵	۰/۰۴	۹/۱۱	۱۲/۵
	۳۰- ۶۰	۳۵/۵	۴۹	۱۵/۵	لوم‌سیلتی	۲۶/۲۰	۸/۶	۷/۷	۰/۵	۶/۸	۲۸۴	۰/۰۳	۸/۵۴	۱۲/۷
دوم	۰-۳۰	۳۴/۵	۴۳/۵	۲۲	لوم	۲۵/۶	۹/۳	۷/۸	۰/۷	۹/۳	۲۸۸	۰/۰۵	۱۰/۲۵	۱۲/۶
	۳۰- ۶۰	۳۴/۵	۴۹	۱۵/۵	لوم‌سیلتی	۲۴/۵	۸/۴	۷/۷	۰/۴	۵/۶	۲۴۱	۰/۰۳	۸/۷۴	۱۲/۶

جدول ۲- برخی از مشخصات آب آبیاری مزرعه کینوا

EC	SAR	pH	کلسیم	منیزیم	سدیم	کلراید	بی کربنات
dS/m	-	-	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
۴/۱۱	۰/۱۵	۷/۷	۳۳/۲	۱۶/۶	۴/۲۶	۲۵/۶	۹۲/۲

در خصوص واریته و چگونگی کاشت کینوا (تراکم کشت) مطابق با توصیه های موسسه اصلاح و تهیه نهال و بذر از رقم Q29 استفاده شد. در این ارتباط ۳ تیمار آبی به صورت ۷۰، ۵۰ و ۳۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده در سه تکرار و ۴ مرحله رشد (مرحله اولیه، توسعه، میانی و رسیدن) در کرت های آزمایشی به ابعاد ۳ در ۴ متر در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی در دو سال زراعی اجرا شد. از داده‌های سال اول برای واسنجی و داده‌های سال دوم برای صحت‌سنجی مدل AquaCrop استفاده شد.

برای شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب از مدل گیاهی AquaCrop استفاده شد. این مدل به چهار دسته داده ورودی شامل داده‌های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه‌ای نیاز دارد. روش‌های محاسبه و تئوری مدل AquaCrop به‌طور جزئی

توسط Steduto و همکاران (2009) شرح داده شده است. این مدل از معادله دورنباس و کاسام (۱۹۷۹) (رابطه ۱)، که در آن ET نسبی اساس محاسبه عملکرد می‌باشد، استنتاج شده است.

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y \left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \quad (۱)$$

در این معادله Y_x عملکرد حداکثر، Y_a عملکرد واقعی، ET_x تبخیر و تعرق حداکثر، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و K_y ضریب تناسب بین کاهش عملکرد نسبی و کاهش نسبی تبخیر و تعرق می‌باشد. مدل AquaCrop به‌وسیله الف- تفکیک تبخیر و تعرق به تعرق از سطح محصول (Tr) و تبخیر از سطح خاک (E) ب- توسعه یک مدل ساده رشد و پیر شدن تاج پوشش گیاهی به‌عنوان پایه برآورد Tr و تفکیک آن از تبخیر، ج- شبیه‌سازی عملکرد نهایی (Y) به‌عنوان تابعی از زیست‌توده نهایی (B) و شاخص برداشت (HI) و د- تفکیک اثرات تنش آبی در چهار جزء: رشد پوشش تاجی، پیری پوشش تاجی گیاه، Tr و HI توسعه یافته است. تفکیک ET به Tr و E از اثر مصرف غیر تولیدی آب از طریق E به‌ویژه در شرایط پوشش گیاهی ناکامل جلوگیری می‌کند. تعرق روزانه (Tr) با استفاده از ET_0 روزانه و بهره‌وری آب (WP) گونه گیاهی که با استفاده از نیاز تبخیری و غلظت CO_2 اتمسفری نرمال شده به وزن قسمت هوایی گیاه تبدیل می‌شود. رابطه (۲)، بیان ریاضی این روابط می‌باشد:

$$WP = \frac{B}{\sum\left(\frac{Tr}{ET_0}\right)} \quad (۲)$$

در این معادله WP بهره‌وری آب (زیست‌توده ناشی از هر واحد تعرق حجمی) می‌باشد.

مدل AquaCrop با تفکیک تبخیر از سطح خاک و تعرق گیاهی و همچنین از طریق ماده خشک و شاخص برداشت، عملکرد محصول را تخمین می‌زند.

برای تعیین میزان دقت مدل‌ها از مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) ، کارایی مدل (EF) و شاخص سازگاری (d) استفاده شد (روابط ۳ تا ۵):

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}}(\mathrm{P_i} - \mathrm{Q_i})^2} \quad (۳)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - \bar{Q})^2} \quad (۴)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - Q_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(|P_i - \overline{Q}| + |Q_i - \overline{Q}|\right)^2} \quad (۵)$$

که در روابط فوق، P_i مقادیر پیش‌بینی شده، Q_i مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌ای)، n تعداد نمونه‌های به‌کار رفته و $\overline{Q}$ متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد.

شاخص RMSE هر چه به سمت صفر میل کند، نشان از دقت تخمین بهتر مدل خواهد بود. شاخص EF و d درجه نزدیک بودن داده‌های تخمینی به داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد. محدود این شاخص‌ها بین ۰ تا ۱ تغییر می‌کند که هر چه مقدار آن به ۱ نزدیک‌تر باشد، مدل کاراتر است.

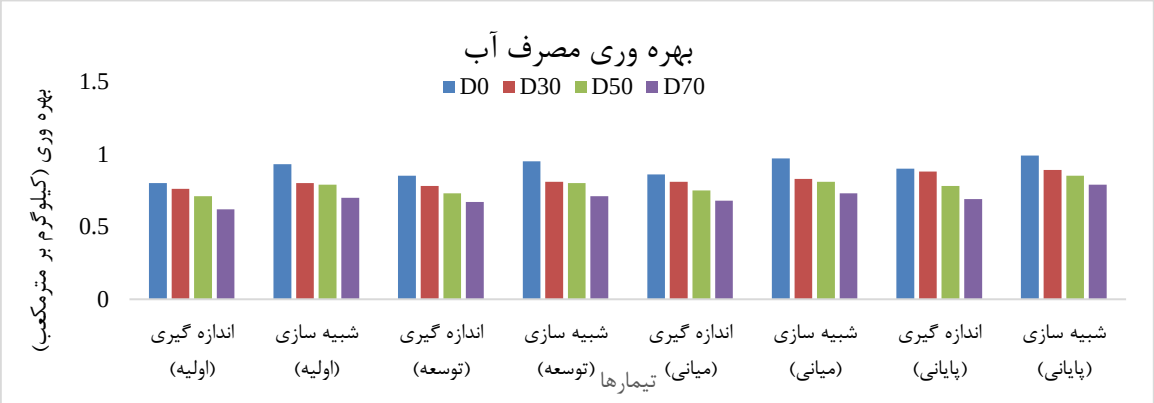
نتایج و بحث

به‌منظور اجرای مدل رشد گیاهی AquaCrop، داده‌های گیاهی اندازه‌گیری شده به‌همراه سایر عوامل به‌دست آمده وارد مدل شدند. برخی از عوامل رشد گیاهی نیز بر اساس نتایج سایر محققان از جمله Zeleke و همکاران (2011)، Mousavizadeh و همکاران (2016) و ابراهیمی پاک و همکاران (۱۳۹۷) به‌صورت پیش فرض به مدل معرفی شدند. برخی از عوامل رشد گیاهی نیز نیاز به واسنجی داشت که بر اساس نتایج سال اول آزمایش و بر اساس میزان عملکرد محصول، واسنجی داده‌ها انجام شد. جدول ۳، مقادیر عوامل گیاهی مورد دستفاده برای مدل AquaCrop را نشان می‌دهد.

جدول ۳- عوامل گیاهی مورد استفاده برای مدل AquaCrop

پارامتر	مقدار	واحد	توضیح
دمای پایه	صفر	درجه سانتی‌گراد	پیش‌فرض
دمای بالا	۳۵	درجه سانتی‌گراد	پیش‌فرض
ضریب رشد کانوپی	۸/۵	درصد روز	پیش‌فرض
پوشش گیاهی هر نهال هنگام جوانه‌زنی	۵	سانتی‌متر مربع	پیش‌فرض
عمق موثر ریشه	۰/۳	متر	پیش‌فرض
مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی	۲۰	روز	اندازه‌گیری
مدت زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوپی	۵۲	روز	اندازه‌گیری
مدت زمان کاشت تا دوره پیری	۸۷	روز	اندازه‌گیری
مدت زمان کاشت تا برداشت محصول	۱۰۰	روز	اندازه‌گیری
بهره‌وری آب نرمال شده	۱۳/۹	گرم بر مترمربع	واسنجی
پوشش گیاهی اولیه	۱۰	درصد	واسنجی
بیشینه رشد کانوپی	۸۵	درصد	واسنجی
حد بالای ضریب تخلیه آب خاک	۰/۱۵	-	واسنجی
حد پایین ضریب تخلیه آب خاک	۰/۴۸	-	واسنجی
ضریب رشد پوشش	۹	درصد روز	واسنجی
ضریب کاهش پوشش	۵	درصد روز	واسنجی
حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق	۱/۲	درصد روز	واسنجی

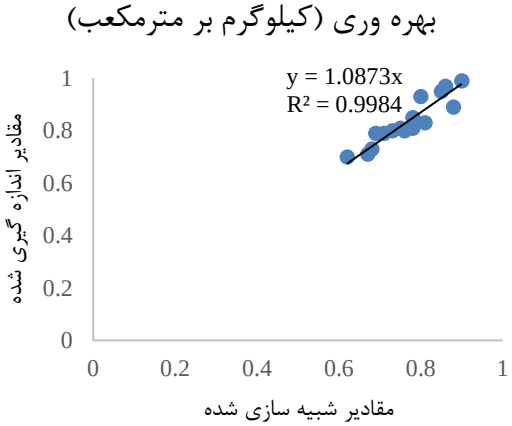
شکل ۲ نتایج مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده مقدار بهره‌وری مصرف آب با استفاده از مدل AquaCrop در دوره صحت‌سنجی (سال دوم)، طی مراحل مختلف رشد کینوا (اولیه، توسعه، میانی و پایانی) با اعمال کم‌آبیاری (D_0: آبیاری کامل، D_{30}: ۳۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه، D_{50}: ۵۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه و D_{70}: ۷۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه)، را نشان می‌دهد.



شکل ۲- مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی مقدار بهره‌وری مصرف آب کینوا با استفاده از مدل AquaCrop

بیشترین و کمترین بهره‌وری مصرف آب کینوا به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و تیمار ۷۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه، مشاهده شد. همچنین تنش آب به میزان ۷۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده در مراحل مختلف رشد کینوا منجر به کاهش بهره‌وری مصرف آب شده است.

شکل ۳، برازش منحنی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مقدار بهره‌وری مصرف آب کینوا را با استفاده از مدل AquaCrop نشان می‌دهد. همچنین جدول ۴، نتایج آنالیز آماری صحت‌سنجی مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۳- برازش منحنی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده مقدار بهره‌وری مصرف آب کینوا را با استفاده از مدل AquaCrop

جدول ۴- نتایج حاصل از آنالیز آماری صحت سنجی مدل AquaCrop

پارامتر	RMSE	EF	d
بهره‌وری مصرف آب	۰/۴	۰/۸۹	۰/۹۲

با توجه به نتایج حاصل از شکل ۳، مقادیر شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده قرابت و همخوانی مناسبی را با یکدیگر داشته‌اند. همچنین آماره‌های محاسبه شده در جدول ۴ هم نشان دهنده کارایی و دقت بالای مدل AquaCrop را در

شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب کینوا می‌باشد. نتایج مقایسه شاخص‌های آماری عملکرد دانه، زیست توده و کارایی مصرف آب در پژوهش امداد و همکاران (۱۴۰۱)، که به بررسی کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد کینوا پرداختند طی مرحله واسنجی نشان داد، جذر میانگین مربعات خطا به‌ترتیب ۰/۲۷، ۰/۴۸ و ۰/۱۳ و شاخص پایداری به‌ترتیب برابر ۰/۸۸، ۰/۸۶ و ۰/۷۵ به‌دست آمده است. همچنین نتایج مقایسه شاخص‌های آماری عملکرد دانه، زیست توده و کارایی مصرف آب در مرحله صحت سنجی حاکی از آن است که جذر میانگین مربعات خطا به‌ترتیب ۰/۲۷، ۰/۳۷ و ۰/۰۵ و شاخص پایداری به‌ترتیب برابر ۰/۸۳، ۰/۹ و ۰/۶۴ بود. طی پژوهش Fghire و همکاران (2015)، که بر روی عملکرد کینوا در مراکش انجام دادند، اظهارکردند که تنش خشکی تاثیری در عملکرد این محصول نخواهد داشت.

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر، شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب گیاه کینوا با استفاده از مدل AquaCrop در ایستگاه تحقیقاتی چهارتخته شهرکرد واقع در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری می‌باشد. بدین منظور، کم‌آبیاری به‌صورت ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده و سه مرحله رشد اولیه (I)، توسعه (D)، میانی (M) و پایانی (F) در نظر گرفته و شبیه‌سازی مقدار بهره‌وری مصرف آب، انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین و کمترین بهره‌وری مصرف آب کینوا به‌ترتیب در تیمارهای آبیاری کامل و تیمار ۷۰ درصد تخلیه آب قابل استفاده گیاه، مشاهده شد. همچنین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل AquaCrop قرابت و همخوانی مناسبی را با یکدیگر داشته‌اند. همچنین آماره‌های محاسبه شده بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده هم نشان دهنده کارایی و دقت بالای مدل AquaCrop را در شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب کینوا می‌باشد. بنابراین استفاده از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی بهره‌وری مصرف آب کینوا، توصیه می‌شود.

منابع

ابراهیمی‌پاک، ن.ع.، اگدرنژاد، ا.، تافته، آ.، احمدی، م. (۱۳۹۸). ارزیابی مدل‌های AquaCrop، Wofost و CropSyst در شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۳ (۱۳): ۷۱۵-۷۲۶.

امداد، م. ر.، تافته، آ.، ابراهیمی‌پاک، ن. ع. (۱۴۰۱). کارایی مدل آکواکراپ در شبیه‌سازی عملکرد کینوا در مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری. نشریه آب و خاک، ۳۶ (۳): ۳۳۱-۳۳۱۹.

گلابی، م.، لک، ش.، گیلانی، ع.، علوی فاضل، م.، اگدرنژاد، ا. (۱۴۰۲). شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده کینوا تحت مدیریت‌های مختلف زراعی با استفاده از مدل AquaCrop. تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک، ۵ (۲): ۴۶۴-۴۴۷.

ابراهیمی‌پاک، ن.ع.، اگدرنژاد، ا.، تافته، آ.، خدادادی دهکردی، د. (۱۳۹۷). بررسی کارایی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد گیاه کلزا تحت سناریوهای کم‌آبیاری در دشت قزوین. تحقیقات آب و خاک ایران، ۴۹ (۵): ۱۰۱۵-۱۰۰۳.

Fghire, R., Wahbi, S., Anaya, F., Issa Ali, O., Benlhabib, O., Ragab, R. (2015). Response of quinoa to different water management strategies: field experiments and SALTMED model application results. Irrigation and drainage, 64(1): 29-40.

Hoogenboom, G.J., White, J.W., Messina, C.D. (2004). From genome to crop: integration through simulation modelling. Journal of Field Crop Resources, 90: 145 -163.

Mousavizadeh, S. F., Honar, T., Ahmadi, S. H. (2016). Assessment of the AquaCrop model for simulating canola under different irrigation management in a semiarid area. International Journal of Plant Production, 10(4), 1735-6814.

Ragab, R. 2015. Integrated management tool for water, crop, soil and N - fertilizers: the SALTMED model. Irrigation and drainage, 64(1): 1-12.

Steduto, P., Hsiao, T. C., Raes, D., Fereres, E. (2009). AquaCrop- The FAO crop model to simulate yield response to water: Consepts and underlying principles. Agronomy Journal, 101: 426-437.

Zeleke, K., Luckett, D., Cowley, R. (2011). Calibration and Testing of the FAO AquaCrop Model for Canola. Agronomy Journal, 103: 1610-1618.

Modeling water use efficiency of quinoa using AquaCrop

Atefeh Sayadi Shahraki[1*], Bijan Haghighati[2], Mahmood Mohammadi[2], Zohreh Mosleh Ghahfarokhi[2]

[1] Researcher Department of Soil and Water Research, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran. (Sayadi.Atefeh@gmail.com)

[2] Assistant Professor Department of Soil and Water Research, Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shahrekord, Iran.

Abstract

Crop growth and development models are very important tools in the study and investigation of agricultural systems and can be used well to simulate crop yield under different conditions. Considering that the investigation of yield limiting factors requires conducting numerous and costly research and experiments in different regions, therefore, finding a way to reduce the number, time, and cost of conducting these experiments is of interest. The aim of the present study is to simulate the water use efficiency of quinoa plant using the AquaCrop model at the Chahartakhte Shahrekord Research Station located at the Agricultural and Natural Resources Research Center of Chaharmahal and Bakhtiari Province. For this purpose, irrigation deficits were considered as 30, 50, and 70 percent of usable water discharge and three stages of initial growth (I), development (D), middle (M), and final (F) were considered and the water use efficiency was simulated. The results showed that the highest and lowest water use efficiency of quinoa was observed in the full irrigation treatments and the 70% plant usable water depletion treatment, respectively. Also, the measured and simulated values using the AquaCrop model had a good correlation and agreement with each other. Also, the statistics calculated between the measured and simulated values indicate the high efficiency and accuracy of the AquaCrop model in simulating the water use efficiency of quinoa.

Keywords: Dificit Irrigation, Yield, Simulation.