

در هکتار افزایش یافته است. Paknejad, Alishiri و Aghayari (2014) در شبیه‌سازی رشد چغندرقد تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و کود نیتروژن نتیجه گرفتند که بیشترین خطا در شبیه‌سازی عملکرد، در تیماری است که دارای بیشترین تنش کود است. هدف تحقیق حاضر، واسنجی و ارزیابی مدل آکوکرپ برای برآورد میزان عملکرد و بیوماس محصول کلزا رقم اکاپی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و سطوح کود نیتروژن خالص در خاک لومی در منطقه قزوین می‌باشد.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای

آزمایش حاضر در دو سال زراعی (۱۳۹۲-۱۳۹۳ و ۱۳۹۳-۱۳۹۴) در ایستگاه تحقیقاتی اسماعیل‌آباد مرکز تحقیقات و منابع طبیعی استان قزوین در زمینی به مساحت ۱۸۰۰ متر مربع به اجرا در آمد. از نظر جغرافیایی این مرکز با مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه ۱۵ دقیقه ۱۵ ثانیه شمالی، ۴۹ درجه ۵۴ دقیقه ۲۶ ثانیه شرقی واقع در ده کیلومتری جنوب‌غربی قزوین قرار گرفته و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۲۸۵ متر می‌باشد. به‌منظور مشخص شدن وضعیت عناصر معدنی و همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک، از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری مزرعه نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها برای آزمون خاک به آزمایشگاه انتقال یافت که نتایج آن در جدول (۱) آورده شده است.

آکوکرپ استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل عملکرد دانه و بیوماس را تحت شرایط بدون تنش آبی و تنش‌های متوسط به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند. در تحقیقی که توسط Arvaneh و Abbasi (2014) صورت گرفت مدل آکوکرپ برای رقم هایولا ۴۰۱ کلزا در دو مزرعه A و B دهلران ایلام، واسنجی (مزرعه A) و اعتبارسنجی (مزرعه B) گردید. مدل عملکرد کلزا و وزن اندام هوایی (بیوماس) را به‌خوبی در مزرعه‌های مورد مطالعه پیش‌بینی کرد. Khorsand, Rezaverdinejad و Shahidi (2014) توانایی مدل آکوکرپ را در برآورد عملکرد دانه گندم (دو رقم روشن و قدس) تحت تنش شوری و آبی در بیرجند بررسی کردند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که مدل در شبیه‌سازی عملکرد برای ارقام روشن و قدس دارای خطای نسبی ۲/۹۸ و ۴/۸۲ درصد است.

مدل آکوکرپ به‌منظور شبیه‌سازی مدیریت‌های مختلف آب و نیتروژن بر عملکرد محصول، مدلی مناسب می‌باشد (Ebrahimi, Khoshravesh et al., 2012). Rezaverdinejad و Majnooni Heris (2015) مدل آکوکرپ را تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و کود نیتروژن جهت برآورد عملکرد و بیوماس ذرت در شیراز ارزیابی کردند. این مدل عملکرد ذرت را با دقت بالایی پیش‌بینی کرد و بیوماس در همه تیمارها به‌صورت بیش‌برآورد به‌دست آمد. Erkossa, Awulachew و Aster (2011) نتیجه گرفتند که در خاک‌های تحت تنش کود کم، نزدیک بهینه و حالت بهینه مقادیر عملکرد برای کلزا در منطقه اتیوپی، از ۲/۵ تن در هکتار به ۶/۴ و ۹/۲ تن

جدول ۱- نتایج آزمون فیزیکی و شیمیایی عمق توسعه ریشه (۰-۳۰ سانتی‌متر) خاک مزرعه آزمایشی

سال اول	سال دوم	آنالیز
۱	۱	هدایت الکتریکی EC (dS/m)
۸	۸	pH
۳/۷۵	۳/۷۵	نسبت جذب سدیم SAR
۷/۵	۷/۵	درصد مواد خنثی‌شونده T.N.V
۳۲	۳۲	درصد رطوبت کل اشباع S.P
۰/۷	۰/۸	کربن آلی O.C (%)
۰/۰۸	۰/۱	ازت کل T.N (%)
۱۰	۱۱/۲	فسفر قابل جذب (mg/kg)
۲۷۵	۳۰۸/۵	پتاسیم قابل جذب (mg/kg)
۱۴	۱۴	درصد رس
۳۴	۳۴	درصد سیلت
۵۲	۵۲	درصد شن
لوم	لوم	بافت خاک

کاشت به طول پنج متر با فاصله ۳۰ سانتی‌متر و فاصله بوته‌ها روی ردیف سه سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تاریخ کاشت در سال اول در ۱۹ مهر ماه و سال دوم در ۱۷ مهر ماه بود. رقم مورد آزمایش، رقم اکاپی بود که معمولاً در آزمایشات به‌عنوان رقم شاهد در منطقه استفاده می‌شود. تاریخ برداشت برای سال اول ۲۸-۲۹ خرداد و برای سال دوم ۲۶-۲۵ خرداد بود. برای اطلاعات اقلیمی مورد نیاز از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی شهر قزوین استفاده (جدول ۴) و تیخیرت‌عرق مرجع نیز براساس از روش فائو پنمن مانیتیت و با استفاده از برنامه ET₀ Calculator محاسبه گردید.

(Allen et al., 1998). پارامترهای گیاهی ویژه طرح در

جدول (۵) ارائه شده‌اند.

این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. تیمارهای مورد بررسی شامل آبیاری (سطحی با روش جوی و پشته‌ای) به‌عنوان عامل اصلی به‌صورت آبیاری نرمال، قطع آبیاری در مرحله ساقه رفتن و قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی بودند. تیمارهای کود نیتروژن به‌عنوان عامل فرعی در پنج سطح ۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم نیتروژن خالص در هکتار بودند (جدول ۲ و ۳). برای تامین نیاز کودی گیاه و براساس آزمون تجزیه خاک، کودهای سولفات پتاسیم و سوپر فسفات تریپل به صورت یکسان برای همه تیمارها، هر کدام به میزان ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار همراه با آماده‌سازی نهایی زمین به‌کار برده شد. آماده‌سازی زمین مورد نظر با استفاده از عملیات شخم و دیسک در پاییز هر سال زراعی (۱۳۹۲ و ۱۳۹۳) انجام گرفت. هر کرت آزمایش شامل شش خط

جدول ۲- تاریخ و عمق آب مصرف‌شده (میلی‌متر) در تیمارهای آبیاری (سال اول)

روز بعد از کاشت	آبیاری نرمال	قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی	قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی
۱	۴۰	۴۰	۴۰
۱۵	۴۰	۴۰	۴۰
۱۴۱	۴۰	۴۰	۴۰
۱۵۹	۴۰	-	۴۰
۱۷۵	۴۰	۴۰	۴۰
۱۹۲	۴۰	۴۰	-
۲۰۷	۴۰	۴۰	۴۰
مجموع	۲۸۰	۲۴۰	۲۴۰

جدول ۳- تاریخ و عمق آب مصرف‌شده (میلی‌متر) در تیمارهای آبیاری (سال دوم)

روز بعد از کاشت	آبیاری نرمال	قطع آبیاری در مرحله ساقه‌دهی	قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی
۱	۵۰	۴۰	۴۰
۱۴۰	۵۰	۴۰	۴۰
۱۶۲	۵۰	-	۴۰
۱۷۷	۶۰	۴۰	۶۰
۱۹۷	۶۰	۶۰	-
۲۰۷	۶۰	۶۰	۶۰
مجموع	۳۳۰	۲۴۰	۲۴۰

جدول ۴- داده‌های هواشناسی سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ به صورت ماهانه

سال	ماه	بارش (mm)	متوسط رطوبت نسبی (%)	سرعت باد (m/s)	ساعت آفتابی (h/day)	دمای حداکثر (°C)	دمای حداقل (°C)
۱۳۹۲	دی	۱/۰	۶۰/۵	۴/۶	۱۹۴/۱	۷/۶	-۵/۴
	بهمن	۴۶/۸	۵۹/۰	۶/۶	۱۸۱/۲	۱۳/۰	۱/۶
	اسفند	۴۳/۴	۵۵/۴	۵/۸	۱۷۹/۳	۱۴/۸	۲/۱
	فروردین	۱۲/۷	۴۶/۱	۶/۴	۲۴۷/۳	۲۱/۳	۶/۰
	اردیبهشت	۳۸/۲	۵۲/۴	۶/۹	۲۶۷/۶	۲۳/۵	۷/۷
	خرداد	۳۲/۷	۳۹/۹	۶/۶	۳۴۱/۶	۳۰/۹	۱۴/۲
	تیر	۰/۰	۴۱/۰	۶/۱	۳۷۵/۱	۳۵/۱	۱۶/۸
	مرداد	۰/۰	۴۷/۸	۵/۲	۳۵۵/۷	۳۴/۶	۱۶/۵
	شهریور	۰/۴	۳۹/۱	۶/۰	۳۲۴/۱	۳۳/۵	۱۵/۴
	مهر	۰/۰	۴۳/۹	۵/۷	۲۸۸/۶	۲۶/۱	۸/۷
	آبان	۶۶/۶	۷۰/۵	۳/۹	۱۵۰/۳	۱۵/۵	۴/۵
	آذر	۶۸/۱	۷۳/۲	۴/۷	۱۵۳/۴	۸/۹	۰/۰
۱۳۹۳	دی	۵/۲	۷۰/۹	۴/۱	۱۵۸/۵	۷/۶	-۳/۱
	بهمن	۸/۳	۵۶/۹	۵/۰	۱۸۷/۲	۹/۰	-۳/۲
	اسفند	۲۱/۴	۵۶/۳	۶/۰	۱۸۲/۳	۱۵/۷	۲/۴
	فروردین	۳۴/۴	۵۰/۵	۶/۲	۲۴۶/۳	۱۹/۵	۴/۷
	اردیبهشت	۷/۳	۴۳/۶	۶/۸	۲۶۹/۹	۲۷/۹	۱۰/۹
	خرداد	۲/۵	۳۶/۱	۶/۹	۲۹۲/۲	۳۲/۵	۱۵/۰
	تیر	۴/۰	۳۴/۴	۶/۲	۳۱۶/۴	۳۷/۴	۱۹/۸
	مرداد	۰/۰	۳۱/۳	۶/۱	۳۴۸/۴	۳۷/۵	۱۸/۵
	شهریور	۰/۰	۳۵/۵	۶/۲	۳۲۳/۱	۳۴/۵	۱۶/۴
	مهر	۴۲/۹	۵۳/۷	۵/۶	۲۴۰/۷	۲۵/۳	۹/۷
	آبان	۲۶/۵	۶۰/۹	۴/۶	۲۰۵/۱	۱۵/۴	۲/۸
	آذر	۴۸/۳	۷۵/۵	۴/۴	۱۴۰/۹	۱۰/۴	۰/۸

جدول ۵- پارامترهای گیاهی مربوط به مراحل فنولوژیکی کلزا

تراکم کشت (بوته در هکتار)	روزهای پس از کاشت			
	جوانه‌زنی	گل‌دهی	پیری	بلوغ یا رسیدگی
۸۰۰۰۰۰	۱۰	۷۹	۸۹	۱۱۴
۷۹				۷۹

می‌کند (Raes et al., 2009):

$$Y = f_{HI} \times HI_0 \times B \quad (2)$$

که در آن HI_0 شاخص برداشت مرجع، Y عملکرد دانه، f_{HI} ضریبی است که شاخص برداشت مرجع را تنظیم می‌کند و B عملکرد بیولوژیکی محصول می‌باشد که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود (Raes et al., 2009):

$$B = K_{S_b} WP^* \sum_{i=1}^n \frac{Tr_i}{ET_{O_i}} \quad (3)$$

که در آن K_{S_b} ضریب تنش دمایی، WP^* بهره‌وری آب نرمال شده می‌باشد. تیمارهای کودی در مدل آکوکرپ براساس معادله زیر تعیین می‌گردد:

مدل آکوکرپ

مدل آکوکرپ از معادله دورنیاس و کاسام (رابطه ۱) با تفکیک نمودن ET_a به تبخیر از سطح خاک (E_s) و تعرق (T_r) و مجزا نمودن عملکرد نهایی (Y) به عملکرد بیولوژیکی محصول (B) و شاخص برداشت (HI) توسعه یافته است. جدا نمودن ET_a به E_s و T_r سبب می‌گردد که بخش غیر موثر آب (تبخیر) در تولید محصول در نظر گرفته نشود (Raes et al., 2009):

$$(1 - Y_a/Y_{max}) = K_y (1 - ET_a/ET_{max}) \quad (1)$$

که در آن Y_{max} حداکثر عملکرد، Y_a عملکرد واقعی، ET_{max} حداکثر تبخیر و تعرق، ET_a تبخیر و تعرق واقعی و K_y فاکتور تناسب بین افت نسبی عملکرد و کاهش نسبی تبخیر و تعرق می‌باشد. برای محاسبه عملکرد دانه، مدل از رابطه (۲) استفاده

که در آن: S_i مقادیر پیش‌بینی‌شده، O_i مقادیر اندازه‌گیری‌شده، n تعداد مشاهدات و \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری‌شده می‌باشد. مقدار NRMSE عالی برای مدل‌سازی کمتر از ۱۰٪ می‌باشد. NRMSE در بازه ۱۰ تا ۲۰٪ و ۲۰ تا ۳۰٪ به ترتیب نشانگر وضعیت مناسب و متوسط مدل در پیش‌بینی و بیشتر از ۳۰٪ نشان‌دهنده عدم اطمینان از مدل می‌باشد. مقدار NSE بین $-\infty$ تا ۱ متغیر است که هر چه مقدار آن به یک نزدیک باشد، مدل کارایی بیشتری دارد. آماره CRM نشانگر تمایل مدل برای بیش‌برآورد (مقادیر منفی) و یا کم‌برآورد (مقادیر مثبت) در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها می‌باشد (Eitzinger et al., 2004; Singh, Tripathy and Chopra, 2008). و بلموت یک شاخص بی‌بعد است که دامنه تغییرات آن بین صفر و یک می‌باشد که مقدار یک بیانگر بهترین برازش می‌باشد. مقدار مثبت RE نشانگر بیش‌برآوردی مدل و مقدار منفی آن نشانگر کم‌برآوردی مدل می‌باشد. آزمون t نیز برای ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت، چنانچه مقدار نتیجه آزمون t بیشتر از ۰/۰۵ باشد بدان مفهوم است که مقادیر شبیه‌سازی پارامتر در سطح احتمال ۹۵ درصد شبیه اندازه واقعی پارامتر می‌باشد.

نتایج و بحث

واسنجی عبارتست از تخمین پارامترهای مدل به نحوی که اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری‌شده (متغیرهایی از قبیل عملکرد و عملکرد بیولوژیک) و مقادیر محاسباتی آن که توسط مدل برآورد شده است به حداقل برسد (Singh, 2004; Brandyle et al., 2005). ارزیابی مدل، اثبات کارایی مدل به منظور استفاده آتی می‌باشد. هدف از واسنجی، تنظیم پارامترها و ورودی‌های مدل هست که دارای حداقل عدم قطعیت می‌باشد (Khorsand, Rezaverdinejad and Shahidi, 2014) و میزان کارایی یک مدل از طریق واسنجی و ارزیابی مدل برای اهداف تعیین‌شده، بررسی می‌شود (Osmani, Motamer Vaziri and Moeini, 2013). برای واسنجی مدل از داده‌های سال ۱۳۹۳-۱۳۹۲ و برای ارزیابی مدل از داده‌های سال ۱۳۹۳-۱۳۹۴ استفاده گردید. سپس مدل اجرا و مقادیر عملکرد دانه و بیولوژیک محصول کلزا رقم اکایی حاصل از شبیه‌سازی با مقادیر اندازه‌گیری‌شده براساس شاخص‌های آماری، مورد سنجش قرار گرفت. نتایج مقادیر واسنجی پارامترهای گیاهی کلزا در جدول (۶) ارائه شده است. در مدل آکوکرپ واکنش گیاه به تنش کودی براساس یک مفهوم بنیادی است و با یک رویکرد کیفی قابل توصیف می‌باشد و تیمارهای کودی در این مدل براساس معادله (۴) تعیین گردید. در این معادله Soil fertility stress بین صفر (بدون تنش) تا ۱۰۰ (تنش کامل) متغیر می‌باشد که برای تیمارهای کودی صفر، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار کود مصرفی به ترتیب برابر با ۶۰، ۵۰، ۴۰، ۲۰ و ۰ درصد به‌دست آمد.

$$\text{Soil fertility stress} = 100 \times \left[1 - \frac{B_{\text{calibration field}}}{B_{\text{reference field}}} \right] \quad (4)$$

که در آن Soil fertility stress درصد تنش کودی که بین صفر (بدون تنش) تا ۱۰۰ (تنش کامل) متغیر می‌باشد، $B_{\text{calibration field}}$ بیوماس کل در زمان برداشت در شرایط تنش کودی و $B_{\text{reference field}}$ بیوماس کل در زمان برداشت در شرایط بدون تنش کود. سیستم اطلاعات گیاه از چهار بخش فنولوژی گیاه، تعرق گیاه، عملکرد بیولوژیک و عملکرد قابل برداشت و تنش‌ها، تشکیل شده است. تنش‌های مدل شامل تنش آبی، تنش حاصل‌خیزی (درجه غنی‌بودن خاک و کوددهی)، تنش دمایی و تنش شوری می‌باشد. مدل قادر به شبیه‌سازی بیلان مواد مغذی در خاک نمی‌باشد و فقط به صورت کلی، شش سطح حاصل‌خیزی خاک را در نظر می‌گیرد: ۱- خاک بدون محدودیت و بهینه (بدون تنش) ۲- نزدیک بهینه (۲۳٪ تنش) ۳- متوسط (۴۱٪ تنش) ۴- نزدیک نصف بهینه (۵۰٪ تنش) ۵- فقیر (۵۸٪ تنش) ۶- خیلی فقیر (۷۲٪ تنش) (Raes et al., 2009; Khorsand, 2014; Khorsand, Rezaverdinejad and Shahidi, 2014; Amiri et al., 2015).

ارزیابی مدل آکوکرپ

برای ارزیابی و سنجش اعتبار مدل در تخمین عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک محصول از شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب کارایی مدل (NSE)، ضریب باقی‌مانده (CRM) (Morisi et al., 2007)، خطای نسبی (RE) (Singh, Tripathy and Chopra, 2008)، شاخص توافق و بلموت (d) (Willmott, 1982) و ضریب تعیین (R^2) استفاده گردید:

$$\text{NRMSE} = \frac{1}{O} \times \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2} \times 100 \quad (5)$$

$$\text{NSE} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \right) \quad (6)$$

$$\text{CRM} = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^n S_i}{\sum_{i=1}^n O_i} \right) \quad (7)$$

$$\text{RE} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{|S_i - O_i|}{O_i} \right) \times 100 \quad (8)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (9)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \right]^2 \quad (10)$$

جدول ۶- واسنجی پارامترهای گیاهی مدل برای محصول کلزا (رقم اکایی)

پارامترها	واحد	مقدار
دمای پایه رشد	(°C)	۵
دمای حداکثر رشد	(°C)	۴۰
بهره‌وری آب نرمال شده (WP*)	(g/m ²)	۱۵/۳
شاخص برداشت مرجع (HI ₀)	(%)	۱۷
ضریب گیاهی (Kc _{Tr,x})	(-)	۰/۹۹
ضریب رشد پوشش تاجی (CGC)	(%/day)	۷/۲۸
ضریب کاهش پوشش تاجی (CDC)	(%/day)	۸/۴۰
حداکثر پوشش گیاهی (CCx)	(%)	۸۷
تنش هوادهی در هنگام اشباع بودن خاک	Vol%	۲
حد بالای ضریب تنش آبی خاک برای پوشش تاجی	(-)	۰/۲
حد پایین ضریب تنش آبی خاک برای پوشش تاجی	(-)	۰/۵۵
فاکتور شکل منحنی ضریب تنش آبی برای پوشش تاجی	(-)	۳/۵
فاکتور شکل منحنی ضریب تنش آبی برای پیری پوشش تاجی	(-)	۳/۰
فاکتور شکل منحنی ضریب تنش آبی برای بسته شدن روزنه‌ها	(-)	۵/۰
حد بالای ضریب تنش آبی خاک برای بسته شدن روزنه‌ها	(-)	۰/۶۵
حد بالای ضریب تنش آبی خاک برای پیری پوشش تاجی	(-)	۰/۶۵

عملکرد دانه

دهنده مقدار کم‌برآورد می‌باشند. براساس نتایج جدول (۸) بیشترین خطای نسبی بیش‌برآورد و کم‌برآورد در مرحله واسنجی آبیاری نرمال برای سطوح کود نیتروژن ۰ و ۸۰ (kg/ha) به ترتیب برابر ۱۶/۰۲ و ۹/۴۴ درصد و برای قطع آبیاری در مرحله ساقه‌رفتن و گل‌دهی در سطوح ۱۶۰ و ۸۰ (kg/ha) به ترتیب ۱۲/۶۰، ۲/۶۰ و ۱۴/۴۴ و ۷/۷۵ درصد به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده در مرحله واسنجی، حداکثر خطای نسبی کم‌برآورد برای هر سه مرحله آبیاری، مربوط به سطح کود نیتروژن خالص ۸۰ (kg/ha) می‌باشد که در حد قابل‌قبولی هست. با توجه به نتایج مرحله ارزیابی مدل، بیشترین RE بیش‌برآورد و کم‌برآورد در مرحله آبیاری نرمال و گل‌دهی همانند مرحله واسنجی برای سطوح کود نیتروژن ۰ و ۸۰ (kg/ha) به ترتیب برابر ۳/۳۰، ۱۷/۴۶ و ۰/۵۱، ۱۵/۹۹ درصد و همچنین برای قطع آبیاری در مرحله ساقه‌رفتن این مقادیر به ترتیب در سطوح کود ۴۰ و ۱۲۰ (kg/ha) ۱۹/۵۷ و ۵/۷۷ درصد به دست آمد. به‌طورکلی مدل آکوکرپ در مرحله واسنجی عملکرد کلزا، بیش‌برآورد و در مرحله ارزیابی، کم‌برآورد نشان داد به دلیل این که مقادیر متوسط خطای نسبی در این مراحل به ترتیب ۲/۲۲ و ۳/۴۰- به دست آمد. Hsiao et al. (2009) مدل آکوکرپ را برای ذرت واسنجی و ارزیابی کردند. با توجه به نتایج مرحله اعتبارسنجی، محدوده‌ی خطای حاصل از پیش‌بینی برای عملکرد ذرت، ۱ تا ۲۴ درصد به دست آمد. Araya et al. (2010) و Keesstra, Araya و Stroosnijder (2010) محدوده‌ی خطای عملکرد دانه جو و خاکشیر را به ترتیب ۵/۶- تا ۱۴/۶ درصد و ۲۲/۵- تا ۸/۵ درصد به دست آوردند. Liu, Zeleke و Cowley (2011) طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای کلزا، خطای عملکرد را ۴/۷ و ۲/۱- درصد به دست آوردند که

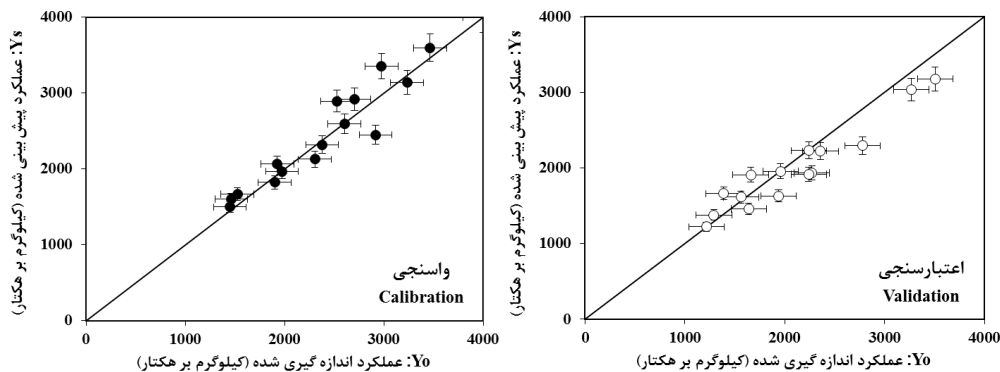
مراحل واسنجی و ارزیابی مدل آکوکرپ برای عملکرد کلزا رقم اکایی در شکل (۱) قابل مشاهده است. پارامترهای ارزیابی و سنجش اعتبار مدل در پیش‌بینی عملکرد دانه کلزا، در جداول (۷) و (۸) آورده شده است. مدل در مرحله واسنجی و ارزیابی، عملکرد محصول را برای رقم اکایی با دقت خوبی شبیه‌سازی نمود. مقدار خطای نرمال شده طی مراحل واسنجی و ارزیابی، برای رقم اکایی به ترتیب در بازه کمتر از ۱۰ درصد و بازه ۱۰ تا ۲۰ درصد به دست آمد که براساس این آماره، مدل‌سازی عملکرد، عالی و مناسب می‌باشد. شاخص NSE طی مراحل واسنجی و ارزیابی برای رقم اکایی، نزدیک به یک بوده و نشان‌دهنده دقت مناسب مدل، در پیش‌بینی عملکرد کلزا می‌باشد. مقدار آماره ضریب باقی‌مانده برای رقم اکایی طی دو مرحله واسنجی و ارزیابی، منفی و مثبت به دست آمد که نشان داد، مدل کمی تمایل به بیش‌برآورد و کم‌برآورد در این مراحل دارد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل در پیش‌بینی عملکرد رقم اکایی کلزا، بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در مرحله واسنجی، شبیه‌سازی می‌کند و کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در مرحله ارزیابی، پیش‌بینی می‌کند که می‌توان علت آن را به پارامترهای موثر دیگر بر گیاه ذکر نمود که در مدل وجود ندارد نظیر تاثیر توامان کود و تنش آبی و همچنین دقت در اندازه‌گیری در سال نیز می‌تواند موثر باشد (جدول ۷). مقادیر خطای نسبی (RE) تخمین مدل در پیش‌بینی عملکرد رقم اکایی کلزا برای سه مرحله آبیاری (نرمال، قطع آبیاری در مرحله ساقه‌رفتن و گل‌دهی) و پنج سطح کود نیتروژن خالص (۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم بر هکتار) در جدول (۸) ارائه شده است که در آن مقادیر مثبت خطای نسبی، نشان‌دهنده مقدار بیش‌برآورد و مقادیر منفی نشان-

مرحله ارزیابی به ترتیب، ۴/۶۵ و ۴/۵۵ درصد به دست آمد. در مطالعات دیگر از جمله Ebrahimi et al. (2015)، Rezaverdinejad و MajnooniHeris (2015)، Andarzian et al. (2011) و Heng et al. (2009) به ترتیب، مدل آکوکراپ عملکرد گندم تحت تنش آبی، ذرت تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و کود نیتروژن، گندم تحت آبیاری کامل و کم‌آبی و ذرت تحت آبیاری و کمبود آبیاری را با خطای نسبی کمتر از ۱۰ درصد پیش‌بینی کردند که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد.

با نتایج تحقیق حاضر که متوسط خطای طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی ۲/۲۲ و ۳/۴۰- درصد به دست آمد، هم‌خوانی دارد. در تحقیقی دیگر مدل برای ارزیابی عملکرد ذرت، واسنجی و صحت‌سنجی شد. شاخص‌های آماری R^2 و NSE در مرحله صحت‌سنجی برای عملکرد به ترتیب، ۰/۸۵ و ۰/۷۶ به دست آمد (Doosti Rezaee et al., 2013). Rezaverdinejad و Shahidi (2014) عملکرد گندم را تحت تنش‌های شوری و آبی توسط این مدل بررسی کردند. براساس نتایج، مقدار NRMSE پیش‌بینی عملکرد برای ارقام روشن و قدس در مرحله واسنجی به ترتیب، ۳/۸۴ و ۶/۶۵ درصد و در

جدول ۲- پارامترهای آماری ارزیابی مدل برای کل سطوح آبیاری و کود (عملکرد کلزا)

شاخص آماری	R^2 (-)	d (-)	NSE (-)	CRM (-)	NRMSE (%)	t_{test}
واسنجی	۰/۸۹	۰/۹۹۷	۰/۸۸	-۰/۰۱۸	۸/۹۵	۰/۴۳
ارزیابی	۰/۸۷	۰/۹۹۴	۰/۸۶	-۰/۰۵۳	۱۱/۷۸	۰/۳۲



شکل ۱- مقایسه عملکرد اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده توسط مدل برای رقم اکابی کلزا با خطای استاندارد

جدول ۸- مقادیر خطای نسبی برای عملکرد کلزا رقم اکابی

تیمار	واسنجی (سال اول)			ارزیابی (سال دوم)		
	عملکرد اندازه-گیری شده**	عملکرد پیش-بینی شده**	خطای نسبی (%)	عملکرد اندازه-گیری شده**	عملکرد پیش-بینی شده**	خطای نسبی (%)
نرمال	۱۵۲۵	۱۶۶۹	۹/۴۴*	۱۵۶۲	۱۶۱۳	۳/۳۰
	۱۹۲۶	۲۰۶۴	۷/۱۵	۱۹۵۸	۱۹۵۸	۰/۰۲
	۲۹۱۷	۲۴۵۰	-۱۶/۰۳*	۲۷۸۰	۲۲۹۵	-۱۷/۴۶
	۳۲۳۵	۳۱۳۷	-۳/۰۳	۳۲۶۶	۳۰۳۸	-۶/۹۸
قطع آبیاری در مرحله ساقه‌رفتن	۳۴۶۸	۳۵۹۵	۳/۶۷	۳۵۰۵	۳۱۷۹	-۹/۳۰
	۱۴۶۴	۱۶۰۱	۹/۳۵	۱۲۹۱	۱۳۷۷	۶/۶۶
	۱۹۷۵	۱۹۶۷	-۰/۴۳	۱۳۹۰	۱۶۶۲	۱۹/۵۷
	۲۳۸۰	۲۳۱۸	-۲/۶۰	۱۶۵۹	۱۹۱۱	۱۵/۱۹
قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی	۲۷۰۶	۲۹۲۰	۷/۹۰	۲۳۵۸	۲۲۲۲	-۵/۷۷
	۲۹۷۷	۳۳۵۲	۱۲/۶۰	۲۲۴۲	۲۲۳۱	-۰/۴۹
	۱۴۴۹	۱۴۹۸	۳/۳۶	۱۲۱۵	۱۲۲۱	۰/۵۱
	۱۹۰۲	۱۸۲۱	-۴/۲۶	۱۶۳۹	۱۴۶۰	-۱۰/۹۰
متوسط (Average)	۲۳۵۸	۲۴۰۰	۲/۲۲	۲۰۸۸	۱۹۷۶	-۳/۴۰
	۲۳۰۵	۲۱۲۶	-۷/۷۵	۱۹۳۹	۱۶۲۹	-۱۵/۹۹
	۲۶۰۵	۲۵۹۳	-۰/۴۵	۲۲۷۲	۱۹۳۵	-۱۴/۸۳
	۲۵۲۹	۲۸۹۴	۱۴/۴۴	۲۲۴۱	۱۹۱۶	-۱۴/۴۹

* - مقادیر مثبت، بیش برآورد و مقادیر منفی کم برآورد می‌باشند. ** بر حسب کیلوگرم در هکتار.

بیوماس

سوم آبیاری یعنی گل‌دهی رخ داده است. مدل آکوکراپ در مرحله واسنجی بیوماس کلزا، بیش‌برآورد و در مرحله ارزیابی، کم‌برآورد نشان داد. به دلیل این‌که مقادیر متوسط خطای نسبی در این مراحل به ترتیب ۲/۹۹ و ۷/۲۳- به دست آمد که با نتایج به دست آمده از مدل برای عملکرد محصول تحت رژیم‌های مختلف آبیاری برای سطوح مختلف کود هم‌خوانی دارد که می‌توان علت آن را به پارامترهای موثر دیگر بر گیاه و همچنین دقت در اندازه‌گیری در سال ذکر نمود.

مقدار شاخص ویلموت طی مراحل واسنجی و ارزیابی برای عملکرد کلزا به ترتیب ۰/۹۹۷ و ۰/۹۹۴ و برای بیوماس به ترتیب ۰/۹۹۴ و ۰/۹۹۵ به دست آمد. این شاخص نشان داد که همبستگی خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر شبیه‌سازی توسط مدل آکوکراپ وجود دارد. تجزیه و تحلیل‌های آماری از طریق آزمون t برای مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه و بیوماس نشان داد که در سطح احتمال پنج درصد (۹۵ درصد اطمینان) بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی آن‌ها در مدل، اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (جدول ۷ و ۹)، که نشان از توانایی مدل برای شبیه‌سازی تاثیر مدیریت آبیاری و کود نیتروژن خالص در کلزا می‌باشد. مقادیر این آزمون طی مراحل واسنجی و ارزیابی برای عملکرد و بیوماس کلزا به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۳۲ و ۰/۳۴ و ۰/۱۸ به دست آمد.

Keesstra, Araya et al. (2010) و

Stroosnijder (2010) محدوده‌ی خطای بیوماس جو و خاکشیر را توسط مدل آکوکراپ به ترتیب ۱۳/۰- تا ۱۵/۱ درصد و ۲/۸- تا ۸/۵ درصد به دست آوردند. Liu و Zeleke (2011) شاخص تطابق و خطای بیوماس کلزا را طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۹۷، ۰/۹۵ و ۱/۲ درصد، ۹/۷- درصد به دست آوردند که با نتایج تحقیق حاضر که شاخص تطابق و متوسط خطای مراحل واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۹۹۴، ۰/۹۹۵ و ۲/۹۹ و ۷/۲۳- درصد به دست آمد، هم‌خوانی دارد. Andarzian et al. (2011) برای پیش‌بینی بیوماس گندم پارامترهای آماری $NRMSE$ ، شاخص سازگاری و ضریب تعیین را به ترتیب ۴/۴ درصد، ۰/۹۷ و ۰/۹۵ گزارش کردند. Abedinpour et al. (2012) ذرت علوفه‌ای را با تیمارهای مختلف آبیاری کامل و کم آبیاری توسط مدل آکوکراپ بررسی کردند. براساس نتایج خطای برآورد برداشت محصول بین ۱/۷ تا ۳/۶ درصد به دست آمد. همچنین Zhang et al. (2013) مقادیر $RMSE$ و شاخص سازگاری را برای بیوماس محصول گندم به ترتیب ۰/۱۶ تا ۰/۳۸ تن بر هکتار و ۰/۲۲ تا ۰/۸۹ برای تیمارهای مختلف به دست آوردند.

به منظور ارزیابی عملکرد مدل آکوکراپ برای گندم زمستانه، مطالعه‌ای در دشت شمالی چین صورت گرفت که نتایج کلی نشان داد این مدل یک مدل معتبر است و می‌توان با درجه قابل اطمینان از دقت و صحت مدل برای بهینه‌سازی عملکرد و بیوماس استفاده

مقایسه مقادیر بیوماس (عملکرد بیولوژیک) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری و کود نیتروژن خالص محاسبه و پیش‌بینی شده کلزا توسط مدل آکوکراپ طی مراحل واسنجی و ارزیابی مدل ارائه شده است (شکل ۲). پارامترهای آماری ارزیابی مدل در پیش‌بینی بیوماس کلزا، در جداول (۹) و (۱۰) آورده شده است. مدل در مراحل واسنجی و ارزیابی، بیوماس محصول را برای رقم اکاپی کلزا با دقت مناسبی شبیه‌سازی نمود. مقدار خطای نرمال شده طی این مراحل، برای رقم اکاپی در بازه ۱۰ تا ۲۰ درصد (محدوده‌ی ۱۲ تا ۱۳ درصد) به دست آمد که براساس این آماره، مدل‌سازی بیوماس، مناسب می‌باشد. شاخص NSE طی مراحل واسنجی و ارزیابی برای رقم اکاپی به ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۷۴ حاصل شد که می‌توان نتیجه گرفت دقت مدل آکوکراپ در پیش‌بینی بیوماس کمی پایین‌تر در مقایسه با نتایج NSE عملکرد کلزا می‌باشد. مقدار آماره ضریب باقی‌مانده برای رقم اکاپی طی دو مرحله واسنجی و ارزیابی، منفی (۰/۰۳۷-) و مثبت (۰/۰۷۸) به دست آمد که نشان داد، مدل به ترتیب کمی تمایل به بیش‌برآورد و کم‌برآورد دارد (همانند مراحل واسنجی و ارزیابی مدل در عملکرد کلزا)، لذا می‌توان نتیجه گرفت که مدل در پیش‌بینی بیوماس، بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در مرحله واسنجی، شبیه‌سازی می‌کند و کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده در مرحله ارزیابی، پیش‌بینی می‌کند (جدول ۹).

مقادیر RE تخمین مدل آکوکراپ در پیش‌بینی بیوماس در جدول (۱۰) برای سه مرحله آبیاری و سطوح کود، ارائه شده است. براساس نتایج جدول (۱۰)، بیشترین خطای نسبی بیش‌برآورد و کم‌برآورد در مرحله واسنجی هر سه مرحله آبیاری نرمال، مرحله ساقه‌رفتن و گل‌دهی برای سطوح کود نیتروژن ۰ و ۱۶۰ kg/ha به ترتیب ۰/۳۵، ۸/۶۴، ۱۶/۹۲، ۹/۴۶ و ۳۱/۴۱، ۳/۱۲ درصد به دست آمد. با توجه به نتایج مرحله ارزیابی مدل برای بیوماس کلزا، در دو مرحله آبیاری نرمال و ساقه‌رفتن مقادیر عددی RE برای هر ۵ سطوح کود نیتروژن منفی به دست آمد که نشانگر این است مدل در مرحله ارزیابی، بیوماس را کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده پیش‌بینی کرده است. بیشترین RE کم‌برآورد در مرحله آبیاری نرمال و ساقه‌رفتن برای سطوح کود نیتروژن ۰ و ۸۰ kg/ha به ترتیب برابر ۱۷/۹۲ و ۱۷/۹۶ درصد به دست آمد. همچنین برای مرحله گل‌دهی بیشترین خطای نسبی بیش‌برآورد و کم‌برآورد به ترتیب در سطوح کود ۰ و ۴۰ kg/ha ۱۳/۰۳ و ۴/۲۳ درصد به دست آمد.

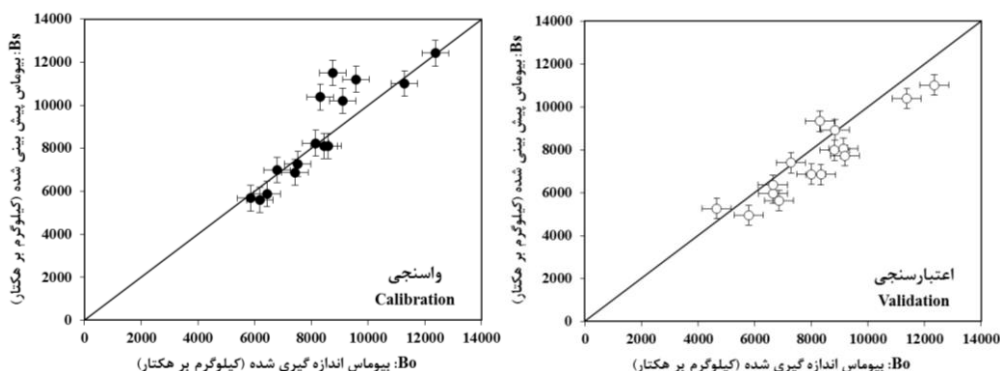
لازم به ذکر است که حداکثر خطای نسبی بیش‌برآورد طی سه مرحله آبیاری، در مرحله سوم یعنی گل‌دهی در سطوح کود نیتروژن خالص ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم بر هکتار (۲۴/۷۸ و ۳۱/۴۱ درصد) برای بیوماس محصول کلزا رقم اکاپی، طی واسنجی مدل آکوکراپ اتفاق افتاده است. همچنین قابل ذکر است که حداکثر RE بیش‌برآورد در مرحله ارزیابی همانند مرحله واسنجی در مرحله

هم‌خوانی دارد. از نتایج Rezaverdinejad, Ebrahimi و Majnooni Heris (2015) شبیه‌سازی بیش‌برآورد بیوماس تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و کود بوده که بیش‌برآورد به‌دست آمدن شبیه‌سازی بیوماس، یکی از ضعف‌های مدل آکوکرپ در این تحقیق ذکر گردیده است. در حالی‌که در تحقیق حاضر، این مدل در مرحله واسنجی بیش‌برآورد و در مرحله اعتبارسنجی کم‌برآورد نشان داد و نتیجه این تحقیق با نتایج Gheysari et al. (2009) که نشان دادند نیتروژن در افزایش بیوماس تاثیر کمی دارد، هم‌خوانی داشت.

کرد (Iqbal et al., 2014). در مطالعات دیگر از جمله Nyakudya و Stroosnijder (2014) و Kim و Kaluarachchi (2015) به‌ترتیب، بیوماس دینامیکی ذرت در زیمبابوه و بیوماس دینامیکی محصولات ذرت، جو و یونجه تحت شرایط بدون تنش توسط مدل آکوکرپ ارزیابی گردید که ضریب کارایی برای تحقیق اول طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی ۰/۷۱ و ۰/۹۸ و در تحقیق دوم مقدار این شاخص برای سه محصول ذکر شده به‌ترتیب طی مراحل واسنجی و اعتبارسنجی ۰/۹۴، ۰/۹۷، ۰/۹۷ و ۰/۸۵، ۰/۹۷، ۰/۹۷ که با نتایج تحقیق حاضر

جدول ۹- پارامترهای آماری ارزیابی مدل برای کل سطوح آبیاری و کود (بیوماس کلزا)

شاخص آماری	R ² (-)	d (-)	NSE (-)	CRM (-)	NRMSE (%)	t _{test}
واسنجی	۰/۷۹	۰/۹۹۴	۰/۶۲	-۰/۰۳۷	۱۲/۸۷	۰/۳۴
ارزیابی	۰/۸۴	۰/۹۹۵	۰/۷۴	-۰/۰۷۸	۱۲/۰۸	۰/۱۸



شکل ۲- مقایسه بیوماس اندازه‌گیری و پیش‌بینی شده توسط مدل برای رقم اکاپی کلزا با خطای استاندارد

جدول ۱۰- مقادیر خطای نسبی برای بیوماس کلزا رقم اکاپی

خطای نسبی	ارزیابی (سال دوم)		خطای نسبی (%)	واسنجی (سال اول)		تیمار
	بیوماس پیش-بینی شده**	بیوماس اندازه-گیری شده**		بیوماس پیش-بینی شده**	بیوماس اندازه-گیری شده**	
-۱۷/۹۲	۵۶۳۰	۶۸۵۹	-۸/۶۴*	۵۸۷۷	۶۴۳۳	۰
-۱۴/۲۸	۶۸۶۲	۸۰۰۵	-۳/۴۶	۷۲۶۲	۷۵۲۲	۴۰
-۱۱/۷۶	۸۰۶۴	۹۱۳۹	-۵/۷۳	۸۱۰۷	۸۶۰۰	۸۰
-۸/۶۹	۱۰۳۸۶	۱۱۳۷۵	-۲/۵۱	۱۱۰۰۵	۱۱۲۸۹	۱۲۰
-۱۰/۷۶	۱۱۰۱۵	۱۲۳۴۴	۰/۳۵*	۱۲۴۱۵	۱۲۳۷۲	۱۶۰
-۱۴/۵۴	۴۹۵۲	۵۷۹۵	-۹/۴۶	۵۵۹۶	۶۱۸۱	۰
-۱۰/۴۱	۵۹۵۷	۶۶۴۹	-۷/۳۹	۶۸۷۵	۷۴۲۴	۴۰
-۱۷/۹۶	۶۸۴۱	۸۳۳۹	-۴/۱۸	۸۱۰۱	۸۴۵۴	۸۰
-۱۵/۹۸	۷۷۲۱	۹۱۹۰	۱۲/۱۴	۱۰۲۰۸	۹۱۰۳	۱۲۰
-۹/۵۴	۷۹۸۰	۸۸۲۲	۱۶/۹۲	۱۱۲۰۴	۹۵۸۲	۱۶۰
۱۳/۰۳	۵۲۶۵	۴۶۵۸	-۳/۱۲	۵۶۷۵	۵۸۵۸	۰
-۴/۲۳	۶۳۶۱	۶۶۴۲	۲/۸۲	۶۹۸۰	۶۷۸۹	۴۰
۱/۴۵	۷۳۹۱	۷۲۸۶	۰/۹۷	۸۲۳۳	۸۱۵۴	۸۰
۰/۹۲	۸۹۲۲	۸۸۴۱	۲۴/۷۸	۱۰۳۷۷	۸۳۱۶	۱۲۰
۱۲/۳۲	۹۳۲۹	۸۳۰۶	۳۱/۴۱	۱۱۵۰۴	۸۷۵۴	۱۶۰
-۷/۲۳	۷۵۱۲	۸۱۵۰	۲/۹۹	۸۶۲۸	۸۳۲۲	متوسط (Average)

* - مقادیر مثبت، بیش برآورد و مقادیر منفی کم برآورد می‌باشند. ** بر حسب کیلوگرم در هکتار.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر از مدل گیاهی آکوکرپ برای پیش‌بینی عملکرد و بیوماس کلزا رقم اکاپی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در پنج سطح کود نیتروژن خالص (۰، ۴۰، ۸۰، ۱۲۰ و ۱۶۰ کیلوگرم بر هکتار) استفاده گردید. مقدار ضریب تعیین در مراحل واسنجی و ارزیابی برای عملکرد کلزا توسط مدل به ترتیب، ۰/۸۹ و ۰/۸۷ و برای بیوماس به ترتیب، ۰/۷۹ و ۰/۸۴ به دست آمد. در مدل آکوکرپ طی مراحل واسنجی و ارزیابی، مقدار خطای نرمال-شده پیش‌بینی عملکرد و بیوماس کلزا (رقم اکاپی)، به ترتیب در محدوده‌ی ۸ تا ۱۲ و ۱۲ تا ۱۳ درصد به دست آمد که نشان داد مدل در پیش‌بینی عملکرد و بیوماس، دقت بالایی دارد. مدل

آکوکرپ در مرحله واسنجی عملکرد و بیوماس کلزا، بیش‌برآورد و در مرحله ارزیابی، کم‌برآورد نشان داد به دلیل این که مقادیر متوسط خطای نسبی در این مراحل مثبت و منفی به دست آمد. تغییر در مدیریت آبیاری و کود نیتروژن منجر به تغییر عملکرد دانه و بیوماس در طول دو سال زراعی شده است که مدل نیز روند مشابهی را برای شبیه‌سازی بر عملکرد دانه و بیوماس نشان داد. با توجه به توانایی مدل آکوکرپ در شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری و کود نیتروژن، این مدل را می‌توان در برنامه‌ریزی آبیاری و مصرف کود نیتروژن در کشت کلزا رقم اکاپی در استان قزوین توصیه نمود.

منابع

- 1- Abedinpour, M., Sarangi, A., Rajput, T.B.S., Singh, M., Pathak, H. and Ahmad, T., 2012. Performance evaluation of AquaCrop model for maize crop in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*, 110, pp.55-66.
- 2- Alishiri, R., Paknejad, F. and Aghayari, F., 2014. Simulation of sugarbeet growth under different water regimes and nitrogen levels by AquaCrop. *Intl J Biosci*, 4(4), pp.1-9.
- 3- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome*, 300(9), p.D05109.
- 4- Amiri, E., Bahrani, A., Khorsand, A. and Haghjoo, M., 2015. Evaluating AquaCrop Model Performance to Predict Grain Yield and Wheat Biomass, Under Water Stress. *Water and Soil Science*, 25(4/2), pp.217-229. (In Persian).
- 5- Andarzian, B., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M.E., Barati, M.A. and Rahnema, A., 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*, 100(1), pp.1-8.
- 6- Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A. and Dejene, T., 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficient and irrigated barley (*Hordeum vulgare*). *Agricultural Water Management*, 97(11), pp.1838-1846.
- 7- Araya, A., Keesstra, S.D. and Stroosnijder, L., 2010. Simulating yield response to water of Teff (*Eragrostis tef*) with FAO's AquaCrop model. *Field Crops Research*, 116(1-2), pp.196-204.
- 8- Arvaneh, H. and Abbasi, F., 2014. Calibration and Validation of the AquaCrop model for Canola in the Field. *Iranian Journal of Water Research*, 8(14), pp.9-17. (In Persian).
- 9- Brandyle, T., Szaty, L., Gnatow, S. and Tomasz, O., 2005. Examination of SWAP suitability to predict soil water conditions in a field Peat-Moorsh soil. *Department of environmental improvement, Warsaw Agricultural University, Poland*.
- 10- Doosti Rezaee, M., Besharat, S., Rezaee, H., Verdinejad, V.R. and Ahmad Ali, J., 2013. Evaluation of AquaCrop model on grain yield of Corn. In *2th International Conference on Plant, Water, Soil and Weather Modeling, Kerman, Iran*. (In Persian).
- 11- Earl, H.J. and Davis, R.F., 2003. Effect of drought stress on leaf and whole canopy radiation use efficiency and yield of maize. *Agronomy journal*, 95(3), pp.688-696.

- 12- Ebrahimi, M., Rezaverdinejad, V. and Majnooni Heris, A., 2015. Simulation of Maize Growth under Different Management of Water and Nitrogen Fertilizer by AquaCrop Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research (IJSWR)*, 46(2), pp.207-220. (In Persian).
- 13- Eitzinger, J., Trnka, M., Hösch, J., Žalud, Z. and Dubrovský, M., 2004. Comparison of CERES, WOFOST and SWAP models in simulating soil water content during growing season under different soil conditions. *Ecological Modelling*, 171(3), pp.223-246.
- 14- Erkossa, T., Awulachew, S.B. and Aster, D., 2011. Soil fertility effect on water productivity of maize in the upper Blue Nile basin, Ethiopia. *Agricultural Sciences*, 2(03), p.238.
- 15- Gheysari, M., Mirlatifi, S.M., Bannayan, M., Homaei, M. and Hoogenboom, G., 2009. Interaction of water and nitrogen on maize grown for silage. *Agricultural water management*, 96(5), pp.809-821.
- 16- Heng, L.K., Evett, S.R., Howell, T.A. and Hsiao, T.C., 2009. Calibration and testing of FAO AquaCrop model for maize in several locations. *Agron. J*, 101, pp.488-498.
- 17- Hsiao, T.C., Heng, L., Steduto, P., Rojas-Lara, B., Raes, D. and Fereres, E., 2009. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*, 101(3), pp.448-459.
- 18- Iqbal, M.A., 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, pp.61-72.
- 19- Khorsand, A., 2014. Comparison and Performance Evaluation of Aquacrop and SWAP Models under Salt and Water Stresses conditions (Case Study Winter Wheat). *MSc Thesis, Urmia University*. (In Persian).
- 20- Khorsand, A., Rezaverdinejad, V. and Shahidi, A., 2014. Performance Evaluation of AquaCrop Model to Predict Yield Production of Wheat, Soil Water and Solute Transport under Water and Salinity Stresses. *Water and irrigation management*, 4(1), pp.89-104. (In Persian).
- 21- Khoshravesh, M., Mostafazadeh-Fard, B., Heidarpour, M. and Kiani, A.R., 2012. AquaCrop model simulation under different irrigation water and nitrogen strategies. *Water Science and Technology*, 67(1), pp.232-238.
- 22- Kim, D. and Kaluarachchi, J., 2015. Validating FAO AquaCrop using Landsat images and regional crop information. *Agricultural Water Management*, 149, pp.143-155.
- 23- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D. and Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 50(3), pp.885-900.
- 24- Muchow, R.C., Sinclair, T.R. and Bennett, J.M., 1990. Temperature and solar radiation effects on potential maize yield across locations. *Agronomy journal*, 82(2), pp.338-343.
- 25- Nyakudya, I.W. and Stroosnijder, L., 2014. Effect of rooting depth, plant density and planting date on maize (*Zea mays* L.) yield and water use efficiency in semi-arid Zimbabwe: Modelling with AquaCrop. *Agricultural Water Management*, 146, pp.280-296.
- 26- Osmani, H., Motamed Vaziri, B. and Moeini, A., 2013. Flow simulation, calibration and validations SWAT model (case study of upstream the Latyan dam). *J. watershed engineering and management*, 5, pp.134-143.
- 27- Raes, D., Steduto, P., Hsiao, T.C. and Fereres, E., 2009. Reference manual AquaCrop. *FAO, Land and Water Division, Rome, Italy*.

- 28- Singh, R., 2004. Simulations on direct and cyclic use of saline waters for sustaining cotton–wheat in a semi-arid area of north-west India. *Agricultural Water Management*, 66(2), pp.153-162.
- 29- Singh, A.K., Tripathy, R. and Chopra, U.K., 2008. Evaluation of CERES-Wheat and CropSyst models for water–nitrogen interactions in wheat crop. *Agricultural water management*, 95(7), pp.776-786.
- 30- 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. *Agronomy Journal*, 101(3), pp.426-437.
- 31- Tavakoli, A.R., Liaghat, A. and Alizadeh, A., 2013. Soil Water Balance, Sowing Date and Wheat Yield Using AquaCrop Model under Rainfed and Limited Irrigation. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 14(4), pp.41-56. (In Persian).
- 32- Willmott, C.J., 1982. Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(11), pp.1309-1313.
- 33- Zeleke, K.T., Lockett, D. and Cowley, R., 2011. Calibration and testing of the FAO AquaCrop model for canola. *Agronomy Journal*, 103(6), pp.1610-1618.
- 34- 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 and Technology*, 68(4), pp.821-828.