نشریه علمی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی، جلد هفدهم، شماره ۲(۶۶)، تابستان ۱۴۰۲، صفحه ۲۲۲-۲۰۵

**مقاله پژوهشی** DOI: 10.30495/JCEP.2023.1930748.1804

# شبیه‌سازی تأثیر مدیریت آب آبیاری بر عملکرد، زیست توده و کارآیی مصرف آب گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) با استفاده از مدل AquaCrop

**افسانه غلامی [۱]، اصلان اگدرنژاد [۲*] و نیازعلی ابراهیمی‌پاک [۳]**

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۲۹ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۶/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۲**

## چکیده

پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی مدل گیاهی AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد، زیست‌توده و کارآیی مصرف آب کلزا تحت مقادیر مختلف آبیاری (E1، E2، E3 و E4 به‌ترتیب نشان دهنده تأمین آب به میزان ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌متر از تشت تبخیر) در سه سال زرعی (Y1، Y2 و Y3 به‌ترتیب نشان‌دهنده سال‌های اول، دوم و سوم) انجام شد. به‌منظور واسنجی این مدل از داده‌های برداشت شده از سال اول زراعی و برای صحت سنجی مدل از داده های سال دوم و سوم استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی هر سه پارامتر مورد مطالعه دچار خطای بیش‌برآوردی شد (MBE<۰). دقت این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده عالی (NRMSE <۰/۱) و برای شبیه‌سازی کارآیی مصرف آب خوب (۰/۱< NRMSE <۰/۲) بود. میانگین اختلاف بین عملکرد، زیست‌توده و کارآیی مصرف آب شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به‌ترتیب برابر با ۰/۱۹ تن در هکتار، ۰/۷۸ تن در هکتار و ۰/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود. براساس این نتایج، استفاده از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد، زیست توده و کارآیی مصرف آب گیاه کلزا قابل پیشنهاد است.

**واژگان کلیدی**: تنش آبی، کلزا، کم‌آبیاری، مدل‌سازی گیاهی.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
۳- دانشیار بخش آبیاری و فیزیک خاک، موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی،کرج، ایران.
**نگارنده مسئول** a_eigder@ymail.com

**مقدمه**

در ایران به‌دلیل افزایش رشد جمعیت و همچنین تغییرات رژیم غذایی مردم، مصرف روغن‌های گیاهی از چهار دهه گذشته به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است. به‌همین دلیل، کشور با کمبود روغن خوراکی مواجه است، به طوری‌که تولید روغن داخلی فقط ۱۰ درصد از کل نیاز روغن را تأمین می‌کند و ۹۰ درصد مابقی با هزینه بسیار بالایی از خارج کشور تأمین می‌شود (Rasooli *et al*., 2016).

کلزا (*Brassica napus* L.) یکی از گیاهان زراعی مهم برای تولید روغن خوراکی است (Crous *et al*., 2021). این گیاه روغنی دارای اسیدهای چرب غیراشباع زیاد و پروتئین است و به‌همین دلیل سهم چشم‌گیری در تولید روغن می‌تواند داشته باشد (Crous *et al*., 2021; Chaganti *et al*., 2021). به‌دلیل سازگاری این گیاه به اقلیم‌های مختلف، در اکثر استان های کشور کشت می‌شود (Zomorodian *et al*., 2011). علی‌رغم این موضوع، رژیم آبیاری این گیاه زراعی بسته به نوع منطقه مورد کشت متفاوت است و به همین دلیل عملکرد آن تحت تأثیر میزان آب آبیاری متغیر است (Mousavizadeh *et al*., 2016). در برخی مناطق نیز به ناچار باید سناریوهای کم‌آبیاری مورد توجه قرار گیرد. اقلیم خشک و نیمه‌خشک ایران و کاهش دسترسی به آب در دهه‌های آینده، نیاز به تعیین میزان واکنش این گیاه زراعی به مقدار آب آبیاری در هر منطقه را دو چندان می‌کند. لیکن بررسی سناریوهای مختلف مدیریت آب آبیاری بر عملکرد کلزا نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار است که در شرایط فعلی کشور برای مراکز تحقیقاتی میسر نیست. به‌همین دلیل، استفاده از مدل‌های گیاهی واسنجی شده توسط بسیاری از محققان پیشنهاد شده است (Ebrahimipak *et al*., 2018; Egdernezhad *et al*., 2019). این روش با کاهش هزینه‌ها و عدم نیاز به زمان طولانی، به محققان و کارشناسان کمک می‌کند تا بتوانند اثر مدیریت های مختلف آبیاری را بر گیاهان مختلف از جمله کلزا بررسی کنند.

مدل AquaCrop یکی از مدل های گیاهی است که توسط سازمان خواروبار کشاورزی ملل متحد برای مناطق خشک و نیمه‌خشک بسط داده شده است. با توجه به اینکه این مدل بر اساس واکنش گیاهان به میزان آب قابل دسترس و شرایط مختلف آبیاری بسط داده شده است (Raes *et al*., 2012)؛ تاکنون توسط محققان بسیاری مورد استفاده قرار گرفته و دقت و کارآیی آن گزارش شده است (Heng *et al*., 2009; Todorovic *et al*., 2009; Raes *et al*., 2012). با توجه به قابلیت‌های این مدل گیاهی، از آن برای شبیه‌سازی واکنش عملکرد گیاهان مختلف زراعی به آب استفاده شده است که از جمله آنها می توان به زعفران (Ebrahimipak *et al*., 2018)، جو (Araya *et al*., 2010)، ذرت و چغندرقند (Stricevic *et al*., 2011)، ذرت (Masanganise *et al*., 2013; Katerji *et al*., 2013) و گندم (Ahmadee *et al*., 2021) اشاره کرد.

در خصوص استفاده از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی کلزا تاکنون مطالعات معدودی انجام شده است. از جمله آنها می‌توان به پژوهشی که توسط اروانه و همکاران (Arvaneh *and Abbasi*, 2014) انجام شده، اشاره کرد. این محققان با استفاده از داده های برداشت شده از یک مزرعه کلزا در دهلران به واسنجی و صحت سنجی مدل AquaCrop پرداختند. این محققان نشان دادند

که نتایج به‌دست آمده از شبیه سازی تطابق خوبی با داده های استخراج شده داشت. به‌همین دلیل پیشنهاد کردند که از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و کارآیی مصرف آب کلزا استفاده شود. در تحقیقی دیگر که توسط زلک و همکاران (Zeleke *et al.*, 2011) انجام شد، از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده کلزا استفاده شد. این محققان نشان دادند که نتایج به دست آمده از این مدل از دقت و کارآیی خوبی برخوردار بود و مدل AquaCrop به‌خوبی توانست تغییرات مقادیر مشاهداتی را تعیین و شبیه‌سازی کند. موسوی‌زاده و همکاران (Mousavizadeh *et al.*, 2016) با استفاده از داده های برداشت شده از یک مزرعه در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷، به شبیه‌سازی عملکرد و زیست توده کلزا تحت شرایط مختلف آبیاری پرداختند. این محققان نشان دادند که توانایی این مدل برای شبیه‌سازی این دو پارامتر قابل قبول بود. ابراهیمی‌پاک و همکاران (Ebrahimipak *et al.*, 2019) از این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد کلزا در دشت قزوین استفاده کردند. این محققان با استفاده از شاخص های آماری نشان دادند که دقت و کارآیی این مدل گیاهی برای شبیه سازی کلزا قابل قبول بود. گرچه ایشان گزارش کردند که این مدل دچار خطای بیش‌برآوردی شد؛ لیکن مقدار آن قابل چشم‌پوشی بود. اگدرنژاد و همکاران (Egdernezhad *et al.*, 2019) از مدل واسنجی شده AquaCrop برای برنامه ریزی آبیاری کلزا استفاده کردند. این محققان دوازده سناریو آبیاری برای زراعت کلزا تعیین و به ارزیابی هر کدام از آنها پرداختند. ایشان نشان دادند که بالاترین عملکرد ممکن در منطقه مورد مطالعه برابر با ۱/۸ تن بر هکتار بود.

با توجه به حساسیت گیاه کلزا نسبت به مقادیر مختلف آب آبیاری، تعیین دقت مدل AquaCrop برای می‌تواند به محققان کمک کند تا میزان عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف این گیاه زراعی را نسبت به مقادیر مختلف آب آبیاری شبیه‌سازی کنند. با توجه به اینکه مطالعات انجام شده در این خصوص اندک است، در تحقیق حاضر به ارزیابی مدل AquaCrop در شرایط کم‌آبیاری کشت کلزا پرداخته شد.

## مواد و روش‌ها

این پژوهش در قطعه زمینی به مساحت حدود ۵۰۰ متر مربع در ایستگاه تحقیقاتی اسماعیل آباد قزوین با عرض جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۴ دقیقه و ۲۶ ثانیه شرقی و طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه و ۱۵ ثانیه شمالی با ارتفاع ۱۲۸۵ متر از سطح دریا و در سه سال زراعی انجام شد. آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در کرت‌هایی به مساحت ۲۴ متر مربع انجام شد. تیمارهای مورد مطالعه شامل مقدار آب آبیاری در چهار سطح (E1، E2، E3 و E4 به‌ترتیب شامل ۵۰، ۷۵، ۱۰۰ و ۱۲۵ میلی‌متر تبخیر تجمعی از تشتک) در سه سال زراعی (Y1، Y2 و Y3 به‌ترتیب سال اول، دوم و سوم) بود. میزان کودهای نیتروژن و فسفاته و پتاسه مورد نیاز براساس آزمایش کودی تعیین و به میزان یکسان در اختیار همه تیمارها قرار گرفت. میزان آب آبیاری براساس سنجش میزان تبخیر از تشتک تعیین و با استفاده از لوله به هر کرت منتقل و به کمک کنتور حجمی در اختیار تیمارها قرار گرفت. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه و آب آبیاری به‌ترتیب در جداول (۱) و (۲) و مقدار آب آبیاری برای هر تیمار در هر سه سال زراعی در شکل (۱) نشان داده شده است.

در طی فصل زراعی از تیمارهای مورد مطالعه نمونه‌برداری انجام شده و پوشش سطح هر تیمار اندازه‌گیری شد. جهت تعیین رطوبت خاک، ابتدا نمونه خاک در طول فصل زراعی با استفاده از آگر برداشت و با استفاده از ترازو میزان رطوبت وزنی تر تعیین و سپس نمونه‌های خاک در آون قرار داده شده و رطوبت خاک در حالت خشک با استفاده از ترازو سنجیده شد. در انتهای فصل زراعی میزان عملکرد و زیست توده هر تیمار با استفاده از برداشت محصول و سنجش توسط ترازو تعیین شد. کارآیی مصرف آب برای هر تیمار براساس رابطه (۱) تعیین شد.

$$WUE = \frac{Y}{W} \qquad (۱)$$

که در این رابطه، WUE کارآیی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)، Y عملکرد (کیلوگرم) و W مقدار آب مصرفی (مترمکعب) است.

**مدل AquaCrop**

در این مدل، همانند بسیاری از مدل های گیاهی دیگر، عملکرد با استفاده از تبخیر-تعرق محاسبه شده (رابطه ۲) ولی با تفکیک تبخیر-تعرق (ET) به دو جزء تبخیر از سطح خاک (E) و تعرق از سطح گیاه (Tr)، از مصرف غیرتولیدی آب از طریق تبخیر (رابطه ۳) جلوگیری می شود. این فرایند با فرض پوشش تاج گیاه به جای شاخص سطح برگ (LAI) انجام می‌شود (Raes *et al.*, 2012):

$$\left(\frac{Y_x - Y_a}{Y_x}\right) = K_y\left(\frac{ET_x - ET_a}{ET_x}\right) \qquad (۲)$$

$$CC = CC_0 \times e^{CGC.t} \qquad (۳)$$

که در این معادلات، $Y_x$ و $Y_a$ به‌ترتیب مقدار بیشینه و واقعی عملکرد محصول، $ET_x$ و $ET_a$ به ترتیب مقدار بیشینه و واقعی تبخیر-تعرق گیاه، و $K_y$ ضریب نسبی میزان کاهش محصول نسبت به کاهش تبخیر-تعرق، CC پوشش تاج در مرحله توسعه گیاه (درصد)، $CC_0$ پوشش تاج اولیه (درصد)، CGC ضریب رشد پوشش تاج (عکس روز) و t زمان (روز) می باشد. بدین ترتیب میزان تعرق گیاه براساس پوشش تاج از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$T_r = K_s \times CC \times K_c \times ET_0 \qquad (۴)$$

که در این رابطه، $K_s$ و $K_c$ به‌ترتیب ضرایب تنش آبی و گیاهی هستند. با تعیین تعرق و تبخیر-تعرق، بیوماس خشک نیز طبق رابطه (۵) برآورد می‌گردد:

$$B = WP^* \left[\frac{Tr_i}{ET_{0,i}}\right] \qquad (۵)$$

که در این رابطه، $T_r$ مقدار کل تعرق روزانه در طول فصل زراعی، WP کارآیی مصرف آب، $ET_0$ تبخیر-تعرق گیاه مرجع و B عملکرد بیوماس خشک است. مقدار عملکرد وزن دانه (Y) نیز با استفاده از ماده ی خشک تولید شده و شاخص برداشت (HI) طبق رابطه (۶) محاسبه می‌شود:

$$Y = B \times HI \qquad (۶)$$

به‌منظور شبیه سازی علمکرد کلزا با این مدل، داده های ورودی در چهار گروه داده های اقلیمی، گیاهی، خاک و مدیریت مزرعه تقسیم‌بندی شدند. داده‌های اقلیمی شامل حداکثر و حداقل دمای روزانه، بارندگی، تبخیر-تعرق گیاه مرجع ($ET_0$) و میانگین غلظت $CO_2$ سالیانه بود. تبخیر-تعرق از معادله فائو-پنمن-مانتیث و توسط نرم افزار ET-calculator تعیین و خروجی آن به مدل معرفی گردید. غلظت $CO_2$ نیز براساس مقدار پیش فرض، که در رصدخانه مائونالوای هاوایی

اندازه‌گیری شده، به مدل معرفی گردید. داده‌های خاک شامل هدایت هیدرولیکی اشباع، بافت خاک و رطوبت حجمی خاک در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دایم براساس آزمایش خاک (جدول ۱) تعیین و به مدل معرفی شدند. داده‌های مدیریت مزرعه نیز شامل: الف) مدیریت مزرعه و حاصلخیزی و ب) آبیاری بود که مدیریت مزرعه بدون محدودیت در نظر گرفته و به مدل معرفی شد.

**تحلیل حساسیت، واسنجی و ارزیابی مدل**

جهت تحلیل حساسیت این مدل از رابطه (۷) استفاده شد (Geerts and Raes., 2009):

$$Sc = \left|\frac{P_m - P_b}{P_b}\right| \times 100 \qquad (۷)$$

که در این رابطه، $S_c$ ضریب حساسیت بدون بعد، $P_m$ مقدار برآورد شده پارامتر مورد نظر براساس داده های ورودی تعدیل شده و $P_b$ مقدار برآورد پارامتر مورد نظر بر اساس داده ورودی پایه می‌باشد. برای تحلیل حساسیت مدل به هر پارامتر، در هر مرحله یکی از پارامترهای ورودی مدل به مقدار ۲۵ درصد تغییر داده می‌شد و بقیه پارامترها ثابت نگه داشته می‌شدند (Geerts and Raes, 2009). در هر مرحله مقدار ضریب حساسیت در سه کلاس، $S_c$ >۱۵ حساسیت بالا، ۱۵> $S_c$ > ۲ حساسیت متوسط، ۲> $S_c$ حساسیت پایین طبقه‌بندی شد (Geerts and Raes, 2009). برخی از مهم‌ترین نتایج به‌دست آمده در جدول (۳) آورده شده است.

مدل AquaCrop از پارامترهای گیاهی مختلف برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد محصولات استفاده می‌کند که اندازه‌گیری برخی از آنها در هر آزمایشی غیرقابل انجام است. بنابراین، براساس نظر بسط دهندگان مدل و بسیاری از محققان، نیاز است که پارامترهای مورد نظر واسنجی شوند (Raes *et al*., 2012). بدین منظور از داده‌های آبیاری سال اول (E1Y1، E2Y1، E3Y1 و E4Y1) برای واسنجی این مدل استفاده شد. واسنجی فقط برای پارامترهایی انجام شد که مقدار حساسیت مدل به تغییرات آنها بیشتر از دو ($S_c$>2) بود. برای تعیین مقادیر مناسب هر کدام از پارامترهای ورودی از آماره‌های جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، میانگین خطای اریب (MBE)، کارآیی مدل (EF)، شاخص توافق (d) و ضریب تبیین ($R^2$) استفاده شد. این آماره ها به‌ترتیب در روابط (۸) تا (۱۳) نشان داده شده‌اند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}} \qquad (۸)$$

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}}}{\overline{O_i}} \qquad (۹)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i}^{n}(P_i - O_i)}{n} \qquad (۱۰)$$

$$EF = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \qquad (۱۱)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i| + |O_i|)^2} \qquad (۱۲)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \overline{P})(O_i - \overline{O})\right)^2}{\sum (P_i - \overline{P})^2 \sum (O_i - \overline{O})^2} \qquad (۱۳)$$

که در این روابط $P_i$ مقدار شبیه‌سازی شده، $O_i$ مقدار اندازه‌گیری شده، $\overline{P}$ میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده، $\overline{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و $n$ برابر تعداد داده‌ها می‌باشد. مقدار آماره RMSE همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار مثبت

آماره MBE نشان‌دهنده این است که مدل رشد گیاهی مورد نظر مقدار پارامتر مورد نظر را بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است و مقادیر منفی بیانگر این است که مدل در برآورد پارامتر مورد نظر عدد کوچک‌تری به‌دست داده است. مقادیر کمتر از ۰/۱ برای آماره NRMSE نشان‌دهنده‌ی دقت عالی مدل است. همچنین، مقادیر این آماره در بازه‌های ۰/۲-۰/۱، ۰/۳-۰/۲ و بیشتر از ۰/۳ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی دقت خوب، متوسط و ضعیف است (Egdernezhad *et al.*, 2019). مقادیر آماره‌های EF و d نشان‌دهنده صحت برازش داده‌ها می‌باشد و از مقدار منفی بی‌نهایت در بدترین حالت تا یک در زمان برازش کامل داده‌ها متغیر است. مقدار $R^2$ از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد.

## نتایج و بحث

مقایسه آماری نتایج مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد کلزا در مرحله واسنجی با استفاده از مدل AquaCrop نشان داد که این مدل کارآیی خوبی برای شبیه‌سازی این پارامتر داشت (جدول ۴). مقادیر آماره‌های RMSE و NRMSE نشان داد که مدل AquaCrop در تعیین عملکرد کلزا دارای دقت قابل قبول بود. مقدار آماره MBE نشان داد که این مدل در تعیین عملکرد دچار خطای بیش‌برآوردی شد. مقادیر آماره‌های RMSE و NRMSE برای زیست‌توده کلزا نشان داد که این مدل خطای قابل قبول بود. مقدار آماره MBE نشان داد که این مدل در تعیین زیست‌توده دچار خطای بیش‌برآوردی شد. مقادیر آماره‌های EF و d نشان داد که این مدل در تعیین زیست‌توده دارای کارآیی عالی بود. مقادیر آماره‌های RMSE و MBE برای کارآیی مصرف آب نشان داد که این مدل دارای خطای قابل قبول و مقادیر آماره‌های EF و d نشان داد که این مدل دارای کارآیی مطلوبی بود. آماره MBE نشان داد که این مدل در تعیین کارآیی مصرف آب دچار خطای بیش‌برآوردی شد. با توجه به نتایج آماری در مرحله واسنجی، مقادیر پارامترهای واسنجی شده برای مرحله صحت‌سنجی تعیین شد (جدول ۵).

نتایج شبیه‌سازی شده عملکرد کلزا در مرحله صحت‌سنجی توسط مدل AquaCrop در شکل (۲) نشان داده شده است. براساس این نتایج، کمترین و بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به‌ترتیب برابر با ۰/۰۵ و ۰/۴ تن بر هکتار بود. این مقادیر به‌ترتیب در تیمارهای E1Y2 و E4Y3 مشاهده شد. متوسط اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برابر با ۰/۱۹ تن بر هکتار بود. با افزایش دور آبیاری (تغییر تیمار از E1 به E4) اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده بیشتر شد. با توجه به شکل (۲)، مدل AquaCrop در تنش‌های آبی کمتر (E1 و E2) روند تغییرات پوشش سطح را بهتر شبیه‌سازی کرده است. با افزایش تنش آبی (تیمارها E3 و E4)، از دقت این مدل برای شبیه‌سازی روند توسعه پوشش گیاهی کاسته شد. به‌همین دلیل دقت شبیه‌سازی عملکرد کلزا نیز تحت تأثیر تنش آبی کاهش یافت. اکثر محققان مانند هنگ و همکاران (Heng *et al.*, 2009) و اندرزیان و همکاران (Andarzian *et al.*, 2011) نیز گزارش کرده‌اند که مدل AquaCrop در تنش‌های آبی شدید دقت کمتری نسبت به شرایط تأمین کامل آب آبیاری دارد. با این وجود دقت مدل AquaCrop را می‌توان قابل قبول دانست. سایر محققان مانند ابراهیمی‌پاک و

همکاران (Ebrahimipak *et al.*, 2019) و اگدرنژاد و همکاران (Egdernezhad *et al.*, 2019) نیز نتایج مشابهی در خصوص شبیه‌سازی عملکرد سایر گیاهان زراعی با مدل AquaCrop گزارش کرده‌اند.

نتایج زیست‌توده شبیه‌سازی شده در شکل (۲) نشان داده شده است. بر اساس این نتایج، کمترین و بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به‌ترتیب برابر با ۰/۲ و ۱/۷ تن بر هکتار بود. این مقادیر به‌ترتیب در تیمارهای E3Y2 و E1Y3 و E4Y3 مشاهده شد. متوسط اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی زیست‌توده نیز برابر با ۰/۷۸ تن در هکتار بود. تنش آبی سبب کاهش دقت نتایج شبیه‌سازی زیست‌توده توسط مدل AquaCrop شد. نتایج آماری نشان داده شده در جدول (۶) نیز این موضوع را بیان می‌کند. براساس مقادیر به دست آمده از آماره‌های RMSE و NRMSE، دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی پوشش سطح برگ با افزایش تنش آبی کاسته شد. مقادیر آماره MBE نیز نشان داد که این مدل در تعیین پوشش گیاهی دچار خطای بیش‌برآوردی شد. این خطا در شکل (۳) نیز قابل مشاهده است. خطای موجود سبب ایجاد اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی عملکرد و زیست‌توده گردید. به‌همین دلیل دقت این مدل با افزایش تنش آبی کمتر شد. این نتایج توسط محققان دیگر مانند موسوی‌زاده و همکاران (Mousavizadeh *et al.*, 2016) نیز گزارش شده است. کارآیی مصرف آب شبیه‌سازی شده توسط مدل AquaCrop در شکل (۲) نشان داده شده است. براساس این نتایج، کمترین و بیشترین اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی به‌ترتیب برابر با ۰/۰۱ و ۰/۱۳ کیلوگرم بر مترمکعب بود. متوسط اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی نیز برابر با ۰/۰۵ کیلوگرم بر مترمکعب بود.

مقادیر همبستگی نتایج شبیه‌سازی شده و مشاهداتی عملکرد، زیست‌توده و کارآیی مصرف آب کلزا در شکل (۴) نشان داده شده است. براساس این نتایج، ضریب تبیین بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد، زیست‌توده و کارآیی مصرف آب به‌ترتیب برابر با ۰/۶۵، ۰/۹۱ و ۰/۵۱ بود. با حذف عرض از مبدا، ضریب تبیین برای این پارامترها به‌ترتیب برابر با ۰/۲۸، ۰/۳۱ و ۰/۱۳ بود. این نتایج نشان داد که مدل AquaCrop توانایی نسبتاً پایینی برای پیروی از تغییرات مقادیر عملکرد و کارآیی مصرف آب داشت. این به علت دقت پایین این مدل در شبیه‌سازی عملکرد و کارآیی مصرف آب در تنش‌های E3 و E4 بود.

مقایسه آماری عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی کلزا در مرحله صحت‌سنجی در جدول (۷) نشان داده شده است. براساس مقادیر آماره‌های RMSE و NRMSE این مدل در تعیین عملکرد دقت قابل قبولی داشت. کارآیی این مدل نیز براساس آماره‌های EF و d عالی بود. براساس آماره MBE، این مدل در شبیه‌سازی عملکرد دچار خطای بیش‌برآوردی شد. مقادیر آماره‌های RMSE و NRMSE برای زیست‌توده کلزا نشان داد که دقت این مدل در تعیین این آماره نیز قابل قبول بود. کارایی مدل AquaCrop در تعیین زیست‌توده نیز مطلوب بود. با این وجود این مدل دچار خطای بیش‌برآوردی در تعیین این پارامتر شد. مقادیر به دست آمده آماره‌های RMSE و NRMSE برای پارامتر کارآیی مصرف آب نیز نشان داد که دقت این مدل قابل قبول بود. این

مدل در تعیین این پارامتر نیز دچار خطای بیش‌برآوردی شد. کارآیی این مدل نیز در تعیین این پارامتر قابل قبول بود.

نتایج رطوبت خاک شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای تیمارهای مورد مطالعه در شکل (۵) نشان داده شده است. در هر کدام از تیمارها، مقدار رطوبت خاک بعد از آبیاری افزایش یافت و مقدار رطوبت خاک به مرور پس از آبیاری کاهش یافت که در شرایط مزرعه هم بدیهی به نظر می‌رسد. براساس نتایج به‌دست آمده، این مدل دقت مطلوبی در تعیین رطوبت خاک در تیمارهای مختلف داشت. این نتایج با مطالعات آدبویه و همکاران (Adeboye *et al.*, 2019) نیز مطابقت داشت. این محققان نیز گزارش کردند که دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رطوبت خاک مطلوب بود. البته در تیمارهای E1Y1، E2Y1، E1Y2 و E2Y2 دقت مدل AquaCrop نسبت به سایر تیمارها کمتر بود. این به علت بیشتر بودن مقدار آب آبیاری نسبت به سایر تیمارها است. با توجه به اینکه حساسیت مدل AquaCrop نسبت به رطوبت خاک پایین بود، با افزایش تنش آبی، دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی رطوبت خاک بیشتر شد.

در این آزمایش ۸ آبیاری برای صحت‌سنجی در دو سال زراعی در نظر گرفته شد. در هر کدام از تیمارهای آبیاری این تعداد آبیاری اعمال شد لیکن مقادیر آبیاری برای هر تیمار متفاوت بود. در تیمار E1 در هر دو سال زراعی، تفاوت بین میزان رطوبت خاک در شرایط واقعی و شبیه‌سازی شده بیشتر از تیمار E4 بود. این موضوع با توجه به کاهش دقت شبیه‌سازی پوشش سطح برگ توسط AquaCrop در شرایط تنش آبی قابل توجیه است. کاهش دقت شبیه‌سازی پوشش سطح سبب شده است تا دقت شبیه‌سازی تعرق نیز کاهش یابد (رابطه ۴). به همین دلیل شبیه‌سازی رطوبت خاک نیز کاهش یابد.

## نتیجه‌گیری کلی

نتایج این تحقیق نشان داد که مدل AquaCrop دقت لازم برای شبیه‌سازی عملکرد، زیست‌توده و کارآیی مصرف آب کلزا در شرایط مختلف مدیریت آب آبیاری را داشت. با این وجود دقت این مدل برای شبیه‌سازی در شرایط تنش آبی اندکی کاهش یافت. این موضوع بر شبیه‌سازی پوشش سطح اثر گذاشت که همین عامل سبب کاهش دقت این مدل در شبیه‌سازی سایر پارامترها بود. علی‌رغم این موضوع، مقادیر خطا برای شبیه‌سازی عملکرد، زیست‌توده و کارآیی مصرف آب مطلوب بود. با توجه به جمع‌بندی نتایج و خصوصیات مدل AquaCrop از جمله کاربرپسند بودن آن، پیشنهاد می‌شود که از این مدل برای شبیه‌سازی کلزا در شرایط کاهش مقدار آب آبیاری در مزرعه استفاده شود.

**جدول ۱**- برخی خصوصیات فیزیکی وشیمیایی خاک مزرعه مورد آزمایش

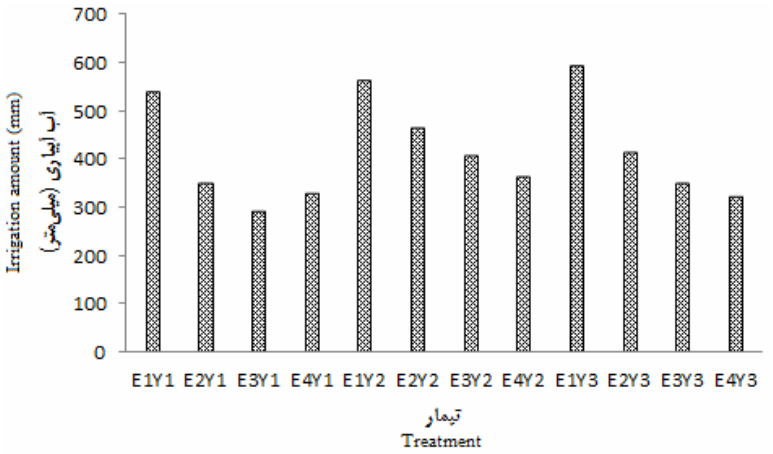
**Table 1-** Physico-chemical characteristics of soil

| عمق Depth cm | بافت خاک Soil texture | شن Sand | سیلت Silt | رس Clay | Bulk density | PWP | FC | pH | EC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % | | | $g.cm^{-3}$ | $cm^3.cm^{-3}$ | | | $dS.m^{-1}$ |
| 0-30 | Silty-loam | 15 | 39 | 33 | 1.44 | 0.13 | 0.22 | 8.1 | 0.74 |
| 30-60 | Silty-loam | 15 | 29 | 39 | 1.47 | 0.14 | 0.24 | 8.0 | 0.87 |

**جدول ۲**- نتایج کیفیت آب آبیاری

**Table 2-** Irrigation properties

| $SO_4^-$ | $Cl^-$ | $HCO_3^-$ | $CO_3^{2-}$ | $K^+$ | $Na^+$ | $Mg^{2+}$ | $Ca^{2+}$ | pH | EC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $meq.l^{-1}$ | | | | | - | $dS.m^{-1}$ |
| 1.0 | 0.5 | 3.9 | - | 0.6 | 1.8 | 1.8 | 1.4 | 7.3 | 2.9 |




**شکل ۱**- مقدار آب آبیاری برای تیمارهای مختلف در سه سال زراعی

**Table 1-**Irrigation amount for treatments during three agricultural years

**جدول ۳**- ضریب حساسیت برخی پارامترهای مدل رشد گیاهی AquaCrop

**Table 3-** Scensivity factor for some AquaCrop input parameter

| پارامتر<br>Parameter | مقدارSc در حالت ٪۲۵- | مقدارSc در حالت ٪۲۵+ | میزان حساسیت<br>Scensivity rate |
|---|---|---|---|
| **مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی**<br>Time from sowing to emergence | 8.5 | 6.3 | **متوسط**<br>Medium |
| **مدت زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوپی**<br>Time from sowing to maximum canopy | 2.0 | 4.2 | **متوسط**<br>Medium |
| **مدت زمان کاشت تا دوره پیری**<br>Time from sowing to senescence | 2.7 | 7.6 | **متوسط**<br>Medium |
| **مدت زمان کاشت تا برداشت محصول**<br>Time from sowing to maturity | 3.3 | 8.4 | **متوسط**<br>Medium |
| **حداکثر عمق مؤثر ریشه**<br>Maximum effective rooting depth | 2.0 | 1.3 | **کم-متوسط**<br>low-medium |
| **کارایی مصرف آب نرمال شده**<br>Water use efficiency normalized | 2.8 | 1.7 | **کم-متوسط**<br>low-medium |
| **پوشش گیاهی اولیه**<br>Initial canopy cover | 6.2 | 8.0 | **متوسط**<br>Medium |
| **بیشینه رشد کانوپی**<br>Maximum canopy cover | 7.0 | 5.6 | **متوسط**<br>Medium |
| **آستانه بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه**<br>Soil water depletion threshold for canopy expansion-Upper | 1.1 | 1.4 | **کم**<br>Low |
| **آستانه پایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه**<br>Soil water depletion threshold for canopy expansion-Lower | 1.5 | 6.0 | **متوسط-کم**<br>Medium-Low |
| **ضریب رشد (توسعه) پوشش**<br>Canopy growth coefficient | 6.0 | 4.5 | **متوسط**<br>Medium |
| **ضریب کاهش (زوال) پوشش**<br>Canopy decline coefficient | 5.7 | 8.0 | **متوسط**<br>Medium |
| **حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق**<br>Basal crop coefficient for transpiration | 6.8 | 8.9 | **متوسط**<br>Medium |
| **ضریب شکل برای ضریب تنش آبی جهت بسته شدن روزنه‌ها**<br>Shape factor for stomatal closure | 8.2 | 2.3 | **متوسط**<br>Medium |
| **ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای مرحله پیری**<br>Shape factor for early canopy senescence | 6.8 | 8.9 | **متوسط**<br>Medium |

**جدول ۴**- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی کلزا در مرحله واسنجی

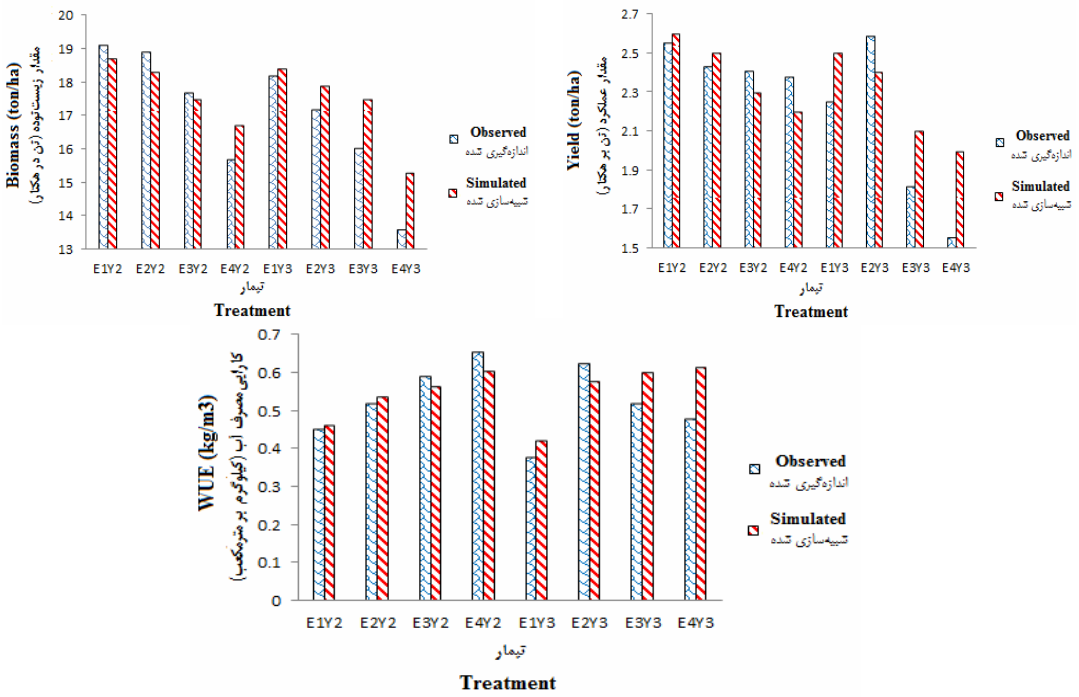
**Table 4-** Values of statistical criteria for simulating Canola in calibration stages

| پارامتر<br>Parameter | MBE | NRMSE | RMSE | EF | D |
|---|---|---|---|---|---|
| **عملکرد**<br>Yield ($ton.ha^{-1}$) | 0.05 | 0.04 | 0.16 | 0.99 | 0.99 |
| **زیست‌توده**<br>Biomass ($ton.ha^{-1}$) | 0.31 | 0.02 | 0.55 | 0.99 | 0.99 |
| **کارایی مصرف آب**<br>Water use efficiency ($kg.m^{-3}$) | 0.02 | 0.10 | 0.04 | 0.99 | 0.99 |

**جدول ۵**- برخی پارامترهای ورودی مدل رشد گیاهی AquaCrop

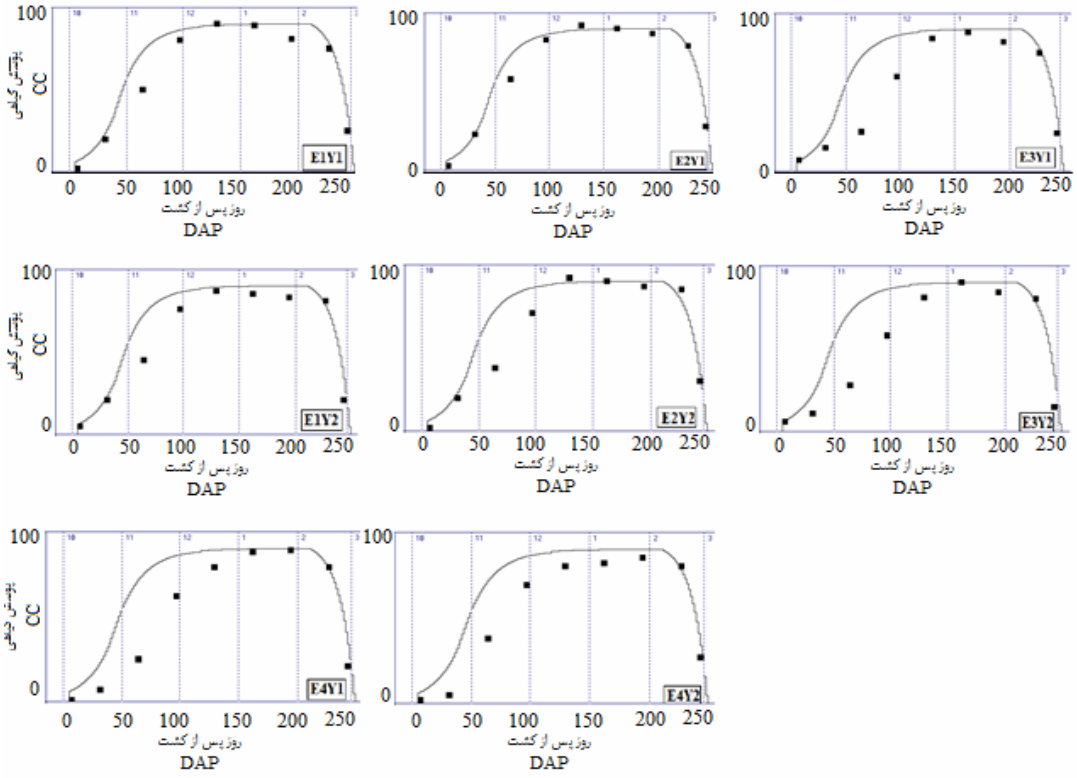
**Table 5-** Values for some input AquaCrop parameters

| توضیح عامل<br>Parameter | واحد<br>Unit | مقدار<br>Value | توضیح<br>Description |
|---|---|---|---|
| دمای پایه<br>Base temperature | درجه سلسیوس<br>°C | 0.8 | اندازه‌گیری<br>Observed |
| دمای حداکثر<br>Maximum temperature | درجه سلسیوس°C | 32 | اندازه‌گیری<br>Observed |
| تراکم کشت<br>Plant density | گیاه در هکتار<br>Plant/ha | 500000 | اندازه‌گیری<br>Observed |
| ضریب رشد (توسعه) کانوپی<br>Canopy growth coefficient | درصد روز<br>% day | 11.5 | پیش‌فرض<br>Default |
| پوشش گیاهی هر نهال هنگام جوانه‌زنی<br>Initial crop canopy | سانتی‌متر مربع<br>$Cm^2$ | 10 | پیش‌فرض<br>Default |
| مدت زمان کاشت تا جوانه‌زنی<br>Time from sowing to emergence | روز<br>day | 12 | واسنجی<br>Calibrated |
| مدت زمان کاشت تا بیشینه رشد کانوپی<br>Time from sowing to maximum canopy | روز<br>day | 120 | واسنجی<br>Calibrated |
| مدت زمان کاشت تا دوره پیری<br>Time from sowing to senescence | روز<br>day | 210 | واسنجی<br>Calibrated |
| حداکثر عمق مؤثر توسعه ریشه<br>Maximum effective rooting depth | متر<br>M | 1.0 | واسنجی<br>Calibrated |
| کارایی مصرف آب نرمال شده<br>Water use efficiency normalized | گرم بر متر مربع<br>$gr.m^{-2}$ | 15.5 | واسنجی<br>Calibrated |
| پوشش گیاهی اولیه<br>Initial canopy cover | درصد<br>% | 0.3 | واسنجی<br>Calibrated |
| بیشینه رشد کانوپی<br>Maximum canopy cover | درصد<br>% | 95 | واسنجی<br>Calibrated |
| حد بالا ضریب تخلیه آب خاک برای توسعه گیاه<br>Soil water depletion threshold for canopy expansion-Upper | -<br>- | 0.25 | واسنجی<br>Calibrated |
| حدپایین ضریب تخلیه آب برای توسعه گیاه<br>Soil water depletion threshold for canopy expansion-Lower | -<br>- | 0.55 | واسنجی<br>Calibrated |
| ضریب کاهش (زوال) پوشش<br>Canopy decline coefficient | درصد روز<br>% day | 9.5 | واسنجی<br>Calibrated |
| حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق<br>Basal crop coefficient for transpiration | درصد بر روز<br>%/day | 1.0 | واسنجی<br>Calibrated |
| ضریب شکل برای ضریب تنش آبی جهت بسته شدن روزنه‌ها<br>Shape factor for stomatal closure | -<br>- | 0.6 | واسنجی<br>Calibrated |
| ضریب شکل برای ضریب تنش آبی برای مرحله پیری<br>Shape factor for early canopy senescence | -<br>- | 0.6 | واسنجی<br>Calibrated |



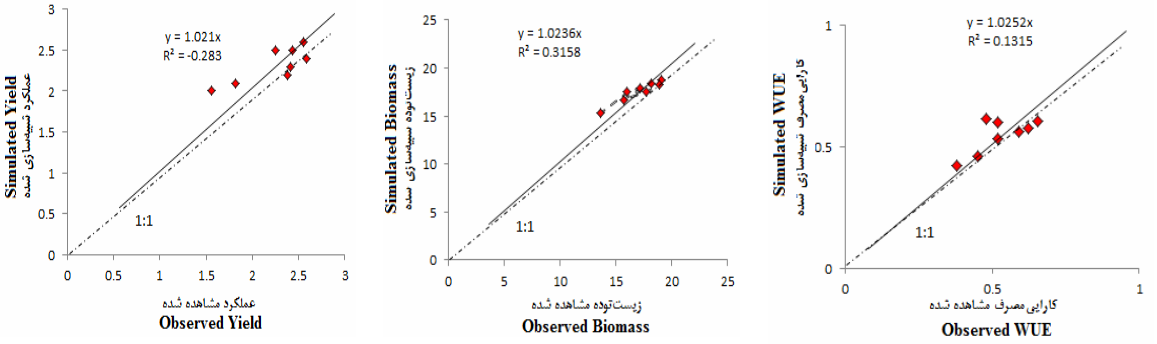

**شکل ۲**-مقایسه نتایج بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد، زیست‌توده و کارایی مصرف آب کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در مرحله صحت‌سنجی

**Figure 2-**Comparison of simulated yield (ton.ha$^{-1}$), Biomass (ton.ha$^{-1}$) and Water Use Efficiency (Kg.m$^{-3}$) of Canola using AquaCrop Model in validation stage




**شکل ۳**- مقایسه نتایج بین مقادیر مشاهداتی و شبیه سازی شده درصد پوشش سبز گیاه کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در مرحله صحت‌سنجی

**Figure 3-**Comparison of simulated yield (t.ha$^{-1}$), Biomass (t.ha$^{-1}$) and Water Use Efficiency (kg.m$^{-3}$) of Canola using AquaCrop Mode in validation stages




**شکل ۴**-همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده عملکرد، زیست‌توده و کارائی مصرف آب گیاه کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در مرحله صحت‌سنجی

**Figure 4-** Correlation between Actual and simulated Yield ($t.ha^{-1}$), Biomass ($t.ha^{-1}$) and Water Use Efficiency ($kg.m^{-3}$) of Canola using AquaCrop Model in validation stage

**جدول ۶**- مقایسه آماری نتایج مشاهداتی و شبیه‌سازی شده درصد پوشش سطح سبز گیاه کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در مرحله صحت‌سنجی

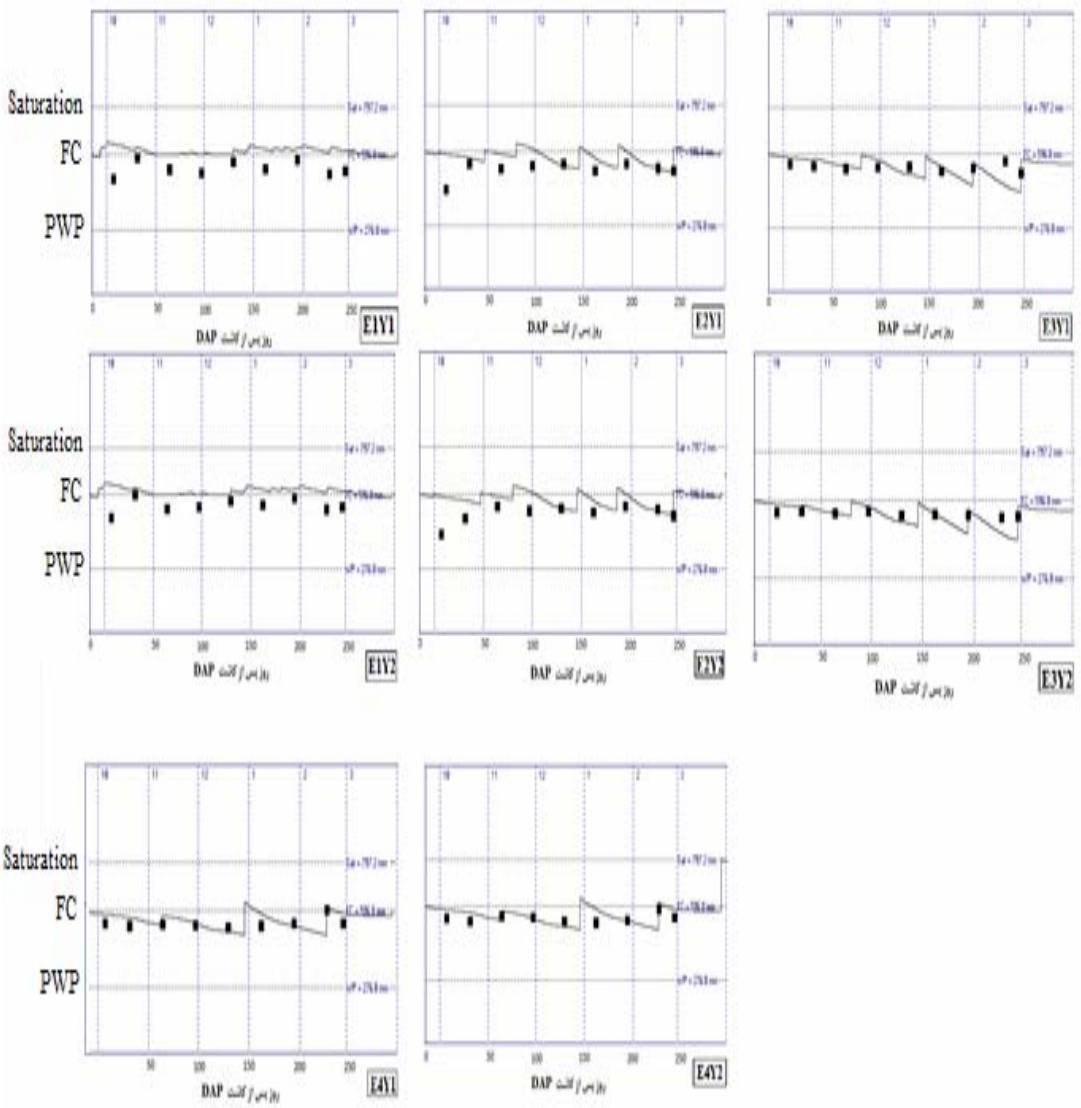
**Table 6-** Statistical comparison of observed and simulated canola canopy cover using AquaCrop model in validation stage

| پارامتر Parameter | RMSE | NRMSE | $R^2$ | EF | D |
|---|---|---|---|---|---|
| E1Y1 | 9.40 | 16.6 | 0.96 | 0.91 | 0.98 |
| E2Y1 | 11.3 | 20.1 | 0.93 | 0.87 | 0.97 |
| E3Y1 | 18.8 | 36.9 | 0.80 | 0.63 | 0.91 |
| E4Y1 | 19.2 | 38.4 | 0.83 | 0.68 | 0.92 |
| E1Y2 | 5.90 | 9.90 | 0.98 | 0.97 | 0.99 |
| E2Y2 | 13.2 | 23.0 | 0.87 | 0.84 | 0.96 |
| E3Y2 | 19.4 | 38.5 | 0.81 | 0.66 | 0.91 |
| E4Y2 | 19.9 | 38.7 | 0.91 | 0.70 | 0.95 |

**جدول ۷**- مقادیر شاخص‌های آماری برای شبیه‌سازی کلزا در مرحله صحت‌سنجی

**Table 7-**Values of statistical criteria for simulating Canola in validation stages

| پارامتر Parameter | MBE | NRMSE | RMSE | EF | D |
|---|---|---|---|---|---|
| عملکرد Yield ($t.ha^{-1}$) | 0.07 | 0.10 | 0.22 | 0.98 | 0.99 |
| زیست‌توده Biomass ($t.ha^{-1}$) | 0.48 | 0.05 | 0.94 | 0.99 | 0.99 |
| کارایی مصرف آب Water use efficiency ($kg.m^{-3}$) | 0.02 | 0.12 | 0.06 | 0.98 | 0.99 |




**شکل ۵**-مقایسه مقادیر رطوبت خاک مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل AquaCrop برای تیمارهای مختلف در مرحله صحت‌سنجی

**Figure 5-** Comparison of observed and simulated soil moisture using AquaCrop for different treatments in validation stages

## References منابع مورد استفاده


- Adeboye, O.B., B. Schultz, K.O. Adekalu, and K.C. Parasad. 2019. Performance evaluation of AquaCrop in simulating soil water storage, yield, and water use efficiency of rainfed soybeans (*Glycine max* L. merr) in Ile-Ife, Nigeria. *Agricultural Water Management.* 213: 1130-1146. doi: 10.1016/j.agwat.2018.11.006
- Ahmadee, M., M. Ghanbarpouri, and A. Egdernezhad. 2021. Determining applied irrigation water of wheat using sensitivity analysis and evaluation of Aqua Crop. *Water Management in Agriculture*. 8(1): 15-30. doi: 20.1001.1.24764531.2021.8.1.2.0. (In Persian).
- Andarzian, B., M. Bannayan, P. Steduto, H. Mazraeh, M.E. Barati, and A. Rahnama. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. *Agricultural Water Management*. 100(1): 1-8. doi: 10.1016/j.agwat.2011.08.023
- Ansari, M., A. Egdernezhad, and N. Ebrahimipak. 2019. Simulating of potato (*Solanum tuberosum* L.) yield under different irrigation conditions using AquaCrop and Cropsyst models. *Journal of Crop Ecophysiology*. 13(50): 287-304. doi: 10.30495/JCEP.2019.666253. (In Persian).
- Araya, A., S. Habtu, K.M. Hadgu, A. Kebede, and T. Dejene. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficit and irrigated barely (*Hordeum vulgare*). *Agricultural Water Management*. 97(11):1838–1846. doi: 10.1016/j.agwat.2010.06.021
- Arvaneh, H., and F. Abbasi. 2014. Calibration and validation of the AquaCrop model for canola in the field. *Iranian Water Research Journal*. 8(14): 9-17. (In Persian).
- Chaganti, V.N., G. Ganjegunte, G. Niu, A. Ulery, J. M. Enciso, R. Flynn, N. Meki, and J. R. Kiniry. 2021. Yield response of canola as a biofuel feedstock and soil quality changes under treated urban wastewater irrigation and soil amendment application. *Industrial Crops and Products*. 170 (113659). doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113659
- Crous, I.R., J. Labuschangne, and P.A. Swanepoel. 2021. Nitrogen source effects on canola (*Brassica napus* L.) grown under conservation agriculture in South Africa. *Crop Sceince*. 61(6): 4352-4364. doi:10.1002/csc2.20599
- Ebrahimipak, N., A. Egdernezhad, A. Tafteh, and D. Khodadadi Dehkordi. 2019. Evaluation of AquaCrop model to simulate canola (*Brassica napus*) yield under deficit irrigation scenarios in Gazvin plain. *Iranian Journal of Soil and Water Research.* 49(5): 1003-1015. doi: 10.22059/IJSWR.2018.236158.667708. (In Persian).
- Ebrahimipak, N., M. Ahmadee, A. Egdernezhad, and A. Khashei Siuki. 2018. Evaluation of AquaCrop to simulate saffron (*Crocus sativus* L.) yield under different water management scenarios and zeolite amount. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*. 8(1): 117-132. doi: 20.1001.1.22517480.1397.8.1.8.5. (In Persian).
- Egdernezhad, A., N.A. Ebrahimipak, A. Tafteh, and M. Ahmadee. 2019. Canola irrigation scheduling using AquaCrop model in Qazvin plain. *Water Management in Agriculture*. 5(2): 53-64. (In Persian).

- Geerts, S., and D. Raes. 2009. Defecit irrigation as on-farm strategy to maximize crop water use efficiency in dry areas. *Agricultural Water Management*. 96(9): 1275-1284. doi: 10.1016/j.agwat.2009.04.009
- Heng, L.K., T.C. Hsiao, S. Evett, T. Howell, and P. Steduto. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*. 101(3):488-498. doi: 10.2134/agronj2008.0029xs
- Katerji, N., P. Campi, and M. Mastrorilli. 2013. Productivity, evapotranspiration, and water use efficiency of corn and tomato crops simulated by AquaCrop under contrasting water stress conditions in the Mediterranean region. *Agricultural Water Management.* 130: 14-26. doi: 10.1016/j.agwat.2013.08.005
- Masanganise, J., K. Basira, B. Chipindu, E. Mashonjowa, and T. Mhizha. 2013. Testing the utility of a crop growth simulation model in predicting maize yield in a changing climate in Zimbabwe. *International Journal of Agricultural and Food Science*. 3(4): 157-163.
- Mousavi, S.A.H., A. Egdernezhad, and A.A. Gilani. 2021. Yield and water productivity simulation of different rice cultivars under various planting methods using AquaCrop, CropSyst and WOFOST models. *Journal of Crop Ecophysiology*. 15(58): 221-228. (In Persian). doi: 10.30495/JCEP.2021.683383
- Mousavizadeh, S.F., T. Honar, and S.H. Ahmadi. 2016. Assessment of the AquaCrop model for simulating canola under different irrigation management in a semiarid area. *International Journal of Plant Production*. 10(4): 425-445. doi: 10.22069/ IJPP.2016.3040
- Raes, D., P. Steduto, T.C. Hsiao, and E. Freres. 2012. Refrence manual AquaCrop, FAO, land and water division, Rome Italy.
- Rasooli, S.J., M.T. Naseri Yazdi, and R. Ghorbani. 2016. Determining prediction model of the canola (*Brassica napus* L.) yields based on agrometeorological and climatic parameters in Mashhad region of Iran. *Journal of Water and Soil*. 30(4): 1322-1333. (In Persian). doi: 10.22067/JSW.V30I4.45336
- Stricevic, R., M. Cosic, N. Djurovic, B. Pejic, and L. Maksimovic. 2011. Assessment of the FAO AquaCrop model in the simulation of rainfed and supplementally irrigated maize sugar beet and sunflower. *Agricultural Water Management.* 98(10): 1615-1621. doi: 10.1016/j.agwat.2011.05.011
- Todorovic, M., R. Albrizio, L. Zivotic, M.T. Abi Saab, C. Stockle, and P. Steduto. 2009. Asswssment of AquaCrop, cropsyst, and wofost models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. *Agronomy Journal*. 101(3): 509-521. doi: 10.2134/agronj2008.0166s
- Zeleke, K.T., D. Luckett, and R. Cowley. 2011. Calibration and testing of the FAO AquaCrop model for canola. *Agronomy Journal*. 103(6): 1610-1618. doi: 10.2134/agronj2011.0150.
- Zomorodian, A., Z. Kavoosi, and L. Momenzadeh. 2011. Determination of EMC isotherms and appropriate mathematical models for canola. *Food and Bioproducts Processing*. 89(4): 407-413. doi: 10.1016/j.fbp.2010.10.006

**Research Article** DOI: 10.30495/JCEP.2023.1930748.1804

# Simulation of the Effect of Irrigation Management on Yield, Biomass and Water Use Efficiency of Canola (*Brassica napus* L.) Using AquaCrop Model

**Afsaneh Gholami [1], Aslan Egdernezhad[2*] and Niaz Ali Ebrahimipak[3]**

*Received: May 2021 , Revised: 17 September 2021, Accepted: 1 February 2022*

## Abstract

The aims of this study is evaluate AquaCrop in simulating rapeseed yield, biomass and water use efficiency under different irrigation amounts (E1, E2, E3 and E4, indicating water supply of 50, 75, 100 and 125 mm from the evaporation pan, respectivly) was performed in three cropping years (Y1, Y2 and Y3 representing the first, second and third years, respectively). In order to calibrate this model, the data collected from the first year used for calibration and data for the second and third year were used for validation. The results showed that AquaCrop had an overestimated error (MBE< 0) to simulate all three parameters studied. The accuracy of AquaCrop was excellent for simulating yield and biomass (NRMSE <0.1) and good for water use efficiency (NRMSE <0.2). The mean differences between simulated and observed yield, biomass and water use efficiency water were 0.19 $t.ha^{-1}$, 0.78 $t.ha^{-1}$ and 0.05 $kg.m^{-3}$, respectively. Based on the results, use of AquaCrop to simulate rapeseed yield, biomass and water use efficiency is recommended.

**Key words**: Canola, Crop Modeling, Deficit Irrigation, Water Stress.

1- M.Sc. Student of Irrigation and Drainage, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
2- Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
3- Associate Professor, Department of Irrigation and Soil Physics, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran.
*Corresponding Authors*: a_eigder@ymail.com*