نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۵، مرداد - شهریور ۱۴۰۰، ص. ۶۲۳-۶۱۱

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 15, Aug.-Sep. 2021, p. 611-623

مقاله علمی - پژوهشی

تحلیل حساسیت پارامترهای رشدی گلرنگ در مدل AquaCrop با مدیریت‌های مختلف آبیاری

عبدالله بهمنش[۱]، اصلان اگدرنژاد[۲*]، سالومه سپهری صادقیان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۴

چکیده

مدل AquaCrop یکی از مدل‌های گیاهی آب-محور است که به منظور شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی تحت مقادیر مختلف آب آبیاری بسط داده شده است. برای استفاده از این مدل لازم است واسنجی انجام شود و برای واسنجی، بایستی میزان حساسیت مدل نسبت به تغییرات پارامترهای ورودی تعیین شود. این پژوهش به‌منظور بررسی حساسیت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی زیست‌توده گلرنگ نسبت به تغییرات پارامترهای رشد گیاهی بهره‌وری آب نرمال شده (WP*)، حداکثر ضریب تعرق گیاهی (K_{CTrx})، پوشش گیاهی اولیه (CCo)، ضریب رشد پوشش گیاهی (CGC) و ضریب کاهش پوشش گیاهی (CDC) با استفاده از روش باون انجام شد. در این پژوهش، از داده‌های برداشت شده از یک مزرعه تحقیقاتی در شهرستان کرمانشاه استفاده شد. این داده‌ها شامل آبیاری قطره‌ای سطحی در سه سطح (T1، T2 و T3 به ترتیب نشان دهنده تأمین ۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز آبی)، آبیاری جویچه‌ای در دو سطح (T4: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، T5: اعمال ۵۰ میلی‌متر آب آبیاری در یک نوبت در دوره گلدهی) و شرایط دیم (T6) بود. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop نسبت به تغییرات پارامتر WP* بیشترین حساسیت را داشت. کمترین حساسیت نیز به پارامتر CDC اختصاص داشت. حساسیت این مدل نسبت به تغییرات پارامتر CDC منفی و برای سایر تیمارها مثبت بود. بنابراین افزایش مقدار CDC سبب کاهش زیست‌توده گلرنگ شد در حالی که افزایش سایر پارامترها سبب افزایش زیست‌توده گلرنگ شد. میزان حساسیت هر پارامتر به تیمار آبیاری وابسته بود. به طوری که افزایش مقدار آب آبیاری برای پارامترهای WP* و Kc سبب افزایش حساسیت شد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب نرمال شده، روش باون، شرایط دیم، ضریب تعرق گیاهی

مقدمه

نظر به اینکه انجام آزمایش‌های متعدد برای بررسی اثر عوامل مختلف بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی مستلزم صرف هزینه و وقت بسیار است، مدل‌های مختلف گیاهی بدین منظور بسط داده شده است (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۷). کلیه مدل‌های گیاهی براساس سه روش به شبیه‌سازی گیاهان زراعی می‌پردازند. این روش‌ها با در نظر گرفتن تولید محصول براساس تبدیل یکی از منابع غذایی گیاه شامل کربن، تابش و آب است. به همین دلیل کلیه مدل‌های گیاهی به سه دسته کربن محور، تابش محور و آب محور تقسیم می‌شوند (Todorovic et al., 2009). مدل AquaCrop یکی از این مدل‌های گیاهی آب محور است که توسط سازمان خوار و بار کشاورزی ملل متحد برای مناطق خشک و نیمه‌خشک بسط داده شده است (اگدرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷). الگوریتم این مدل براساس میزان آب مصرف شده توسط گیاه (تعرق) توسعه داده شده‌است (رحیمی‌خوب و همکاران، ۱۳۹۹). این مدل توانایی شبیه‌سازی سیستم‌های مختلف آبیاری سطحی، بارانی، قطره‌ای سطحی و زیرسطحی را دارد. به دلیل اهمیت و قابلیت‌های این مدل، محققان بسیاری از آن برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی در شرایط مختلف آب قابل دسترس استفاده کرده‌اند.

ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۷) از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد زعفران تحت سناریوهای مختلف آبیاری استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که این مدل توانایی لازم برای شبیه‌سازی

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- استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: a_eigder@ymail.com
DOR: 20.1001.1.20087942.1400.15.3.11.5

عملکرد زعفران را دارد. محققان بسیاری از جمله هنگ و همکاران ، هیسائو و همکاران، ماسانگانیس و همکاران و کاترجی و همکاران از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت تحت شرایط مختلف آبیاری استفاده کردند (Heng et al., 2009; Masanganise et al., 2013; Katerji et al., 2013). این محققان نشان دادند که دقت این مدل برای شبیه‌سازی عملکرد ذرت مطلوب بوده است. ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۸) از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی عملکرد کلزا در منطقه قزوین استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل AquaCrop از دقت و کارایی مطلوبی برای شبیه‌سازی کلزا برخوردار بود. اگدرنژاد و همکاران (۱۳۹۷) گزارش کردند که دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب کلزا قابل اعتماد است و از این رو می‌توان از این مدل برای برنامه‌ریزی آبیاری کلزا استفاده کرد. سیاحی و همکاران (۱۳۹۹) از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند استفاده کردند. آن‌ها نشان دادند که این مدل در شبیه‌سازی عملکرد چغندرقند دچار خطای کم‌برآوردی شد ولی دقت و کارایی آن براساس دو آماره میانگین مربعات خطای نرمال شده و کارایی مدل بسیار مطلوب بود. از این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی سایر گیاهان زراعی از جمله جو، توسط آرایا و همکاران و پنبه توسط ماساسی و همکاران نیز استفاده شده است (Araya et al., 2010; Masasi et al., 2020). داده‌های مورد نیاز برای استفاده از مدل AquaCrop شامل دو دسته ثابت و غیرثابت هستند. داده‌های ثابت در این مدل توسط بسط دهندگان آن تعیین و پیشنهاد شده که برای شبیه‌سازی تغییر نکنند. داده‌های غیرثابت در هر شبیه‌سازی باید به وسیله واسنجی برآورد شوند (Raes et al., 2012). با این وجود تحقیقات اخیر نشان داده است که کلیه داده‌ها در این مدل برای شرایط محیطی مختلف ثابت نیستند (رحیمی‌خوب و همکاران، ۱۳۹۹). بدین ترتیب، قبل از استفاده از این مدل گیاهی می‌بایست اثر تغییرات پارامترهای ورودی بر مقدار خروجی مورد تحلیل حساسیت قرار گیرد. نتایج تحلیل حساسیت به محققان این امکان را می‌دهد تا پارامترهای خیلی مهم یا کم اهمیت را شناسایی کنند (رحیمی‌خوب و همکاران، ۱۳۹۹). از این رو، محققان می‌توانند در مرحله واسنجی به این پارامترها براساس درجه حساسیت آن‌ها توجه نمایند. این روش به حدی ارزشمند است که بسیاری از محققان قبل از واسنجی مدل AquaCrop از آن استفاده می‌کنند. ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۸) با تحلیل حساسیت گیاه کلزا نسبت به تغییرات پارامترهای ورودی مدل AquaCrop نشان دادند که این مدل نسبت به تغییرات ضریب گیاهی برای تعرق، بیشترین حساسیت را داشت. این نتایج توسط محمدی و همکاران (۱۳۹۴) و سالمی و همکاران نیز گزارش شده است (Salemi et al., 2011). این محققان نیز نشان دادند که ضریب گیاهی برای تعرق بیشترین حساسیت را بر نتایج خروجی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی گندم داشت. ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۷) با ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زعفران گزارش کردند که تغییرات ضریب رشد پوشش گیاهی اثر زیادی بر حساسیت نتایج خروجی این مدل گیاهی داشت. ژائو و همکاران نشان دادند که پارامترهای ضریب گیاهی برای تعرق، ضریب رشد پوشش گیاهی، ضریب کاهش پوشش گیاهی و حداکثر پوشش گیاهی بیشترین اثر را بر دقت خروجی مدل AquaCrop داشتند (Guo et al., 2019). جین و همکاران پوشش گیاهی و بهره‌وری آب نرمال شده را موثرترین پارامترهای ورودی برای مدل AquaCrop برشمردند (Jin et al., 2018). رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی حساسیت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی ریحان پرداختند. این محققان نشان دادند که بهره‌وری آب نرمال شده بیشترین اثر را بر تغییرات خروجی این مدل داشت.

گیاه گلرنگ (Cartahamus tinctorius L.) یکی از دانه‌های روغنی است که برای تولید روغن‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگرچه این گیاه مقاوم به خشکی است ولی عملکرد آن در شرایط تنش خشکی به طور قابل توجهی بی‌ثبات است (طاهری و همکاران، ۱۳۹۷). به همین دلیل لازم است شناخت کافی از رژیم آبیاری گلرنگ و اثر هر روش آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد آن داشت (محتشمی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به اهمیت این گیاه، شبیه‌سازی رشد آن با استفاده از مدل AquaCrop بین محققان کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از جمله معدود تحقیقاتی که در این خصوص انجام شده است می‌توان به مطالعات موسوی زاده مجرد و همکاران اشاره کرد. این محققان خطای مدل AquaCrop را برای شبیه‌سازی رشد گلرنگ بین ۱۰-۸ درصد گزارش کردند. با این وجود حساسیت این مدل را نسبت به پارامترهای ورودی بررسی نکردند (Mousavi Zadeh Mojarad et al., 2018).

با توجه به اینکه روند کشت گلرنگ در کشور در حال افزایش است، ارزیابی سناریوهای مختلف آبیاری برای پیش‌بینی واکنش آن به شرایط مختلف نیازمند مدل‌سازی رشد این گیاه زراعی با مدل AquaCrop است. بدین منظور، اطلاع از میزان حساسیت پارامترهای رشد گلرنگ در مدل AquaCrop ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف تحقیق حاضر ارزیابی و تحلیل حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات پارامترهای رشد گیاه گلرنگ با مدیریت‌های مختلف آبیاری است.

مواد و روش‌ها

عملیات مزرعه‌ای

این پژوهش با استفاده از داده‌های برداشت‌شده در دو سال زراعی در یک مزرعه تحقیقاتی در کرمانشاه انجام شد (Ghamarnia and Sepehri, 2010). این مزرعه در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه

شرقی و عرض ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا قرار گرفته است. گیاه گلرنگ در تاریخ ۲۲ اسفند و به مقدار ۳۰ کیلوگرم در هکتار کاشته شد. تنک‌کاری در تاریخ ۲۹ فروردین و با فاصله ۱۵ سانتی‌متر انجام شد. براساس آزمایش خاک (جدول ۱)، ۱۲۰ کیلوگرم فسفات آمونیوم، ۱۵۰ کیلوگرم اوره، ۱۵۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم گوگرد در هکتار در طول دوره رشد به مزرعه داده شد.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه (Ghamarnia and Sepehri, 2010)

EC دسی‌زیمنس بر) (متر	فسفر قابل جذب (میلی‌اکی‌والا ن بر لیتر)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌اکی‌وا لان بر لیتر)	کربن آلی (درصد)	Mn (میلی‌اکی‌وا لان بر لیتر)	Fe (میلی‌اکی‌وا لان بر لیتر)	Zn (میلی‌اکی‌وا لان بر لیتر)	Sand (درصد)	Silt (درصد)	Clay (درصد)	بافت خاک
۱/۲	۲۶	۴۴۰	۱/۳۸	۷/۸	۱۱/۹	۱/۳۶	۳/۷	۴۲/۳	۴۵	سیلتی رسی

تیمارهای مورد استفاده و بررسی در این پژوهش شامل آبیاری قطره‌ای سطحی در سه سطح (T1، T2 و T3 به ترتیب نشان دهنده تأمین ۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز آبی)، آبیاری جویچه‌ای در دو سطح (T4: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، T5: اعمال ۵۰ میلی‌متر آب آبیاری در یک نوبت در دوره گلدهی) و شرایط دیم (T6) بود. در تیمار آبیاری قطره‌ای نواری (T-Tape)، نوارهای آبیاری قطره‌ای قبل از کاشت بذور در عمق ۱۵ سانتی‌متری از سطح خاک قرار داده شدند. کلیه آبیاری‌ها بعد از کاشت تا سبز شدن گیاه، در تمام تیمارها یکسان و پس از آن آبیاری مطابق تیمارهای ذکر شده اعمال گردید شد (Ghamarnia and Sepehri, 2010). مشخصات آب آبیاری در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب (Ghamarnia and Sepehri, 2010)

EC (میکرو موس بر سانتیمتر)	TDS (میلی‌گرم بر لیتر)	PH	CO_3 (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	HCO_3 (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	CL (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	SO_4 (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	Mg +Ca (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	Na (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)	سدیم محلول (درصد)
۱۰۰۰	۶۴۰	۷/۱	۰	۶/۱۵	۱/۹	۱/۱۸	۸/۱۵	۱/۰۸	۱۱/۷

در سیستم آبیاری جویچه‌ای، زمان قطع آبیاری Tco با توجه به زمان پیشروی (Tt)، زمان نفوذ عمق خالص آب (Tn) و زمان پسروی (Tr) طبق رابطه (۱) محاسبه شد (Walker and Skogerboe, 1987).

$$T_{co} = T_t + T_n - T_r \qquad (۱)$$

در این طرح چون شیب زمین ۰/۵درصد و انتهای فاروها باز بود، زمان پسروی صفر فرض شد. مقدار Tn از رابطه (۲) به دست آمد:

$$T_n = \left[\frac{i_n \left[\frac{w}{p} \right] - c}{a} \right]^{\frac{1}{b}} \qquad (۲)$$

که در این رابطه، i_n مقدار خالص آب مورد نیاز جهت نفوذ یا مقدار نیاز آبی (میلی‌متر)، Q دبی ورودی به جویچه (لیتر در ثانیه)، n ضریب مانینگ، S شیب جویچه (متر بر متر)، W عرض جویچه (متر)، P محیط خیس شده (متر) که با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد و a، b و c که ضرایب ثابت بودند. این ضرایب به ترتیب برابر با ۱/۷۸۶، ۰/۷۸۵ و ۷ به دست آمدند.

$$p = 0.265 \left[\frac{Q.n}{S^{0.5}} \right]^{0.425} + 0.227 \qquad (۳)$$

برای محاسبه میزان دبی ورودی به جویچه، از پارشال فلوم با عرض گلوگاه ۳ اینچ و براساس رابطه (۴) تعیین شد.

$$Q = 1.177 h_a^{1.55} \qquad (۴)$$

در این رابطه، Q دبی عبوری از پارشال فلوم (بر حسب لیتر بر ثانیه) و h_a ارتفاع آب ورودی به جویچه (بر حسب متر) است. برای تعیین نیاز آبیاری، از داده‌های تشت تبخیر ایستگاه هواشناسی کرمانشاه در مجاورت مزرعه تحقیقاتی استفاده شد (رابطه ۵).

$$ET_c = K_c \times E_{pan} \times K_p \qquad (۵)$$

در این رابطه، ET_c نیاز آبی خالص گیاه گلرنگ (میلی‌متر بر روز)، E_{pan} میزان تبخیر از تشتک کلاس A (میلی‌متر بر روز) و K_c و K_p به ترتیب ضریب گیاهی گلرنگ (جدول ۳) و ضریب تشتک تبخیر

کلاس A (جدول ۴) است. سپس براساس مساحت تحت کشت، حجم آب مورد نیاز با احتساب راندمان ۵۰ و ۹۰ درصد به ترتیب برای آبیاری‌های جویچه‌ای و قطره‌ای محاسبه گردید.

جدول ۳- ضریب گیاهی گلرنگ در دوره رشد (Ghamarnia and Sepehri, 2010)

دوره رشد	ابتدایی	میانی	توسعه
ضریب گیاهی	۰/۳	۱/۱۵	۰/۵۲

جدول ٤- ضریب تشتک کلاس A

ماه	Jan	Feb	Mar	Apr	May	June	July	Agu	Sep	Oct	Nov	Dec
ضریب	۰/۶۲	۰/۷۲	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۷۷	۰/۷۶	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۶۹	۰/۶۳	۰/۵۸

در انتهای فصل رشد، برداشت محصول به صورت دستی انجام و میزان زیست‌توده پس از خشک شدن به وسیله ترازو تعیین گردید.

مدل AquaCrop

برای تعیین عملکرد محصول براساس تبخیر- تعرق از رابطه (۶) استفاده شد.

$$B = WP^* \sum_{i=1}^{n} \frac{Tr_i}{ETo_i} \quad (۶)$$

در این معادله، B عملکرد زیست‌توده تجمعی (گرم بر مترمربع)، WP* بهره‌وری آب نرمال شده (گرم بر مترمربع)، Tr_i تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز) و $ET0_i$ تبخیر- تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)، n تعداد روزهای پس از کشت و i شماره روز است. تعرق روزانه با استفاده از رابطه (۷) به دست می‌آید:

$$T_{ri} = K_s \times CC \times K_{CTrx} \times ET_{0i} \quad (۷)$$

در این رابطه، Ks ضریب تنش آبی (-)، K_{CTrx} حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (-) و CC ضریب پوشش گیاهی (-) است. در مدل AquaCrop تعیین میزان پوشش گیاهی بسیار با اهمیت است و سه مدل مختلف برای تعیین آن وجود دارد (رابطه‌های ۸ تا ۱۰).

$$CC = CC_0 \times e^{tCGC} \quad (۸)$$

$$CC = CC_x - 0.25\frac{CC_x^{\,2}}{CC_0} \times e^{-tCGC} \quad (۹)$$

$$CC = CC_x \left[1 - 0.05\left(e^{\frac{CDC}{CCx} \times t} - 1\right)\right] \quad (۱۰)$$

در این روابط، CC_0 پوشش گیاهی اولیه (سانتی‌متر مربع برای هر گیاه)، CGC ضریب رشد پوشش گیاهی (درصد روز)، CDC ضریب کاهش پوشش گیاهی (درصد روز) و t زمان است. از رابطه‌های (۸) تا (۱۰) به ترتیب برای تعیین پوشش گیاهی از ابتدای دوره رشد تا نیمه مرحله توسعه، از نیمه تا آخر مرحله توسعه و از ابتدای مرحله پیری تا انتهای دوره رشد استفاده می‌شود.

تحلیل حساسیت

با توجه به روابط حاکم بر مدل AquaCrop، پارامترهای بهره‌وری آب نرمال شده (WP*)، حداکثر ضریب تعرق گیاهی (K_{CTrx})، پوشش گیاهی اولیه (CC_0)، ضریب رشد پوشش گیاهی (CGC) و ضریب کاهش پوشش گیاهی (CDC) در شبیه‌سازی زیست‌توده از اهمیت بسیاری برخوردار هستند. بنابراین در پژوهش حاضر حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات این پارامترها بررسی شد. مقادیر اولیه و دامنه تغییرات این پارامترها در جدول (۵) نشان داده شده است. میزان نمو هر پارامتر نیز براساس ماهیت آن و اثرگذاری مقادیر پارامتر بر نتایج خروجی تعیین شد.

جدول ۵- مقادیر اولیه و دامنه تغییرات پارامترهای مورد مطالعه

پارامتر	علامت	واحد	مقدار اولیه	حد پایین	حد بالا	نمو تغییرات
بهره‌وری آب نرمال شده	WP*	$g.m^{-2}$	۱۸	۱۶	۲۰	۱
حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق	K_{CTrx}	-	۱	۰/۷۵	۱/۲	۰/۰۵
پوشش گیاهی اولیه	CC_0	$cm^2.plant^{-1}$	۱/۵	۱	۱/۸	۰/۱
ضریب رشد پوشش گیاهی	CGC	$\%day^{-1}$	۸/۷	۵/۷	۱۵/۷	۱
ضریب کاهش پوشش گیاهی	CDC	$\%day^{-1}$	۸	۳	۱۳	۱

به منظور تحلیل حساسیت از رابطه ۱۱، ارائه شده توسط باون استفاده شد (Beven, 1979).

$$S_{pi} = \lim_{\Delta Pi \to 0} \frac{\frac{\Delta y}{y}}{\frac{\Delta P_i}{P_i}} = \frac{\partial y}{\partial P_i} \times \frac{P_i}{y} \qquad (۱۱)$$

در این رابطه، S_{pi} ضریب حساسیت، P_i پارامتر مورد بررسی و y مقدار زیست‌توده است. مقادیر S_{pi} بر حسب نوع پارامتر می‌تواند مثبت یا منفی باشد. مقادیر مثبت نشان دهنده افزایش زیست‌توده با تغییر پارامتر مورد نظر است. مقادیر منفی نیز نشان دهنده کاهش زیست‌توده با تغییرات پارامتر مورد نظر است. مقدار ضریب حساسیت با توجه به جدول (۶) در چهار گروه کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرند (Lenhart et al., 2002).

جدول ٦- طبقه‌بندی ضریب حساسیت

گروه	درجه	دامنه تغییرات
۱	کم	$0 \le \lvert Sp \rvert < 0.05$
۲	متوسط	$0.05 \le \lvert Sp \rvert < 0.2$
۳	زیاد	$0.2 \le \lvert Sp \rvert < 1$
۴	بسیار زیاد	$1 \le \lvert Sp \rvert$

نتایج و بحث

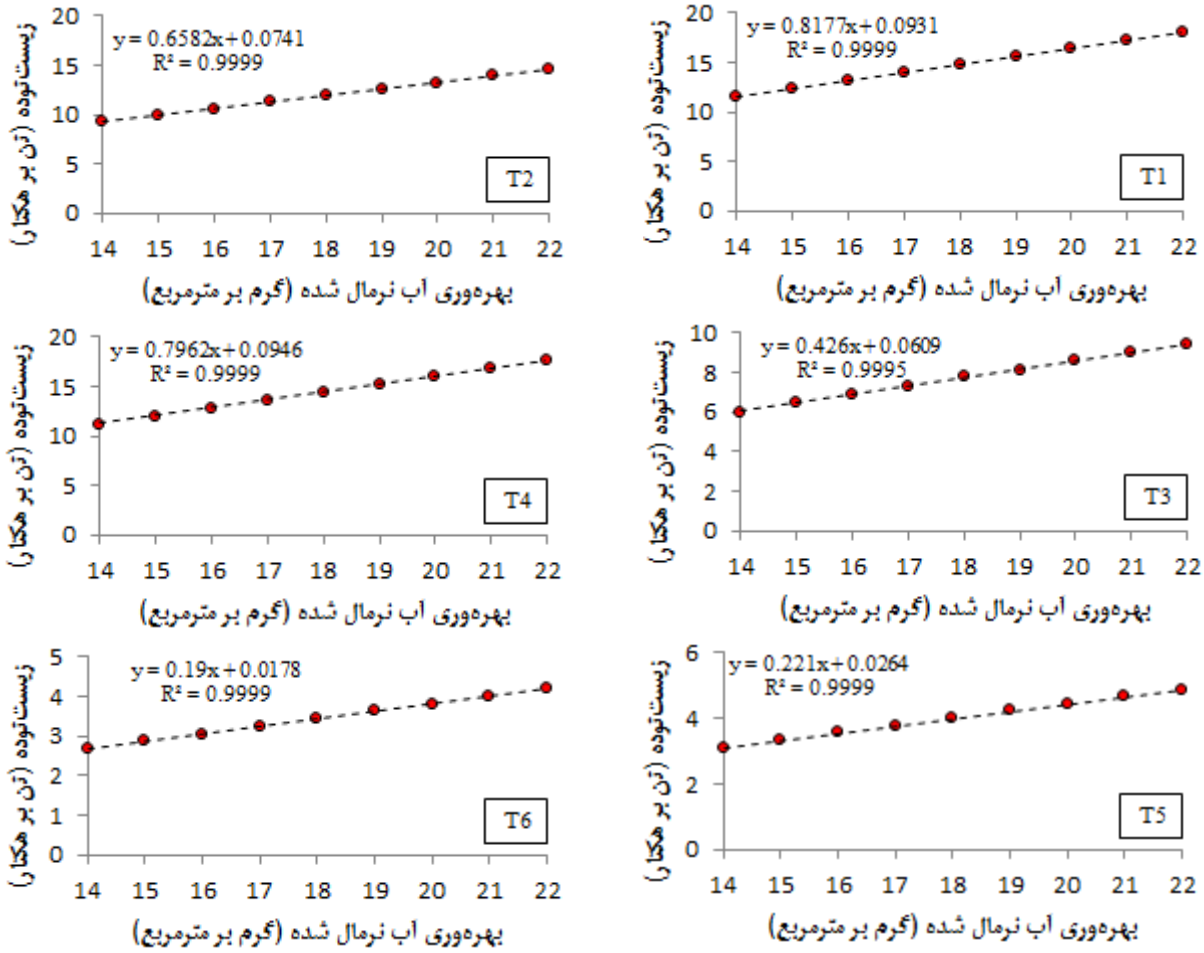
نتایج به دست آمده از ضرایب حساسیت برای پارامترهای رشد گلرنگ در جدول (۷) نشان داده شده است. مقادیر ضریب حساسیت برای پارامتر *WP نسبت به مقدار و روش آبیاری متفاوت بود. بیشترین حساسیت مدل AquaCrop نسبت به آبیاری قطره‌ای با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (T1) بود. در آبیاری قطره‌ای با تأمین ۶۶ درصد نیاز آبی (T2) هم، میزان حساسیت مدل AquaCrop بسیار زیاد بود. با این وجود میزان حساسیت این مدل برای آبیاری قطره‌ای با تأمین ۳۳ درصد نیاز آبی (T3) کاهش یافت و در بازه زیاد قرار گرفت. حساسیت مدل AquaCrop برای تعیین زیست‌توده در روش آبیاری جویچه‌ای با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (T4) در بازه خیلی زیاد قرار داشت. برای دو تیمار T5 و T6 میزان حساسیت مدل AquaCrop به میزان آب آبیاری وابسته نبود به طوری که در هر دو مقدار آب آبیاری میزان حساسیت کمتر از T4 بود. در حالت کلی، میزان حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات این پارامتر در بازه زیاد و خیلی زیاد قرار داشت. این نتایج توسط سایر محققان از جمله جین و همکاران و رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۹۹) نیز گزارش شده است (Jin et al., 2018). این محققان میزان حساسیت برای پارامتر *WP را در بازه خیلی زیاد گزارش کردند. برخی محققان از جمله حاجی‌زاده و همکاران (۱۳۹۸) و کریمی آورگانی و همکاران (۱۳۹۵) مقدار این پارامتر را برای گیاهان جو و تربچه به ترتیب برابر با ۰/۹۶ و ۰/۸۸ گزارش کردند که در بازه زیاد قرار داشت.

جدول ۷- ضرایب مدل برای پارامترهای رشد گیاه گلرنگ

تیمار	WP* (g.m^{-2})	K_{CTrx}	CC_0 (cm^2.plant^{-1})	CGC (%day^{-1})	CDC (%day^{-1})
T1	۱/۸۳	۰/۷۸	۰/۰۴	۰/۷۱	-۰/۰۴
T2	۱/۱	۰/۲۰	۰/۰۶	۰/۴۲	-۰/۰۱
T3	۰/۴۵	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۵۹	-۰/۰۳
T4	۱/۵۵	۱/۱۷	۰/۰۴	۰/۳۴	-۰/۰۱
T5	۰/۵۵	۰/۲۴	۰/۱۱	۰/۷۰	-۰/۰۲
T6	۰/۵۴	۰/۲۲	۰/۰۹	۰/۶۸	-۰/۰۹
انحراف معیار	۰/۵۸	۰/۴۲	۰/۰۳	۰/۱۵	۰/۰۳

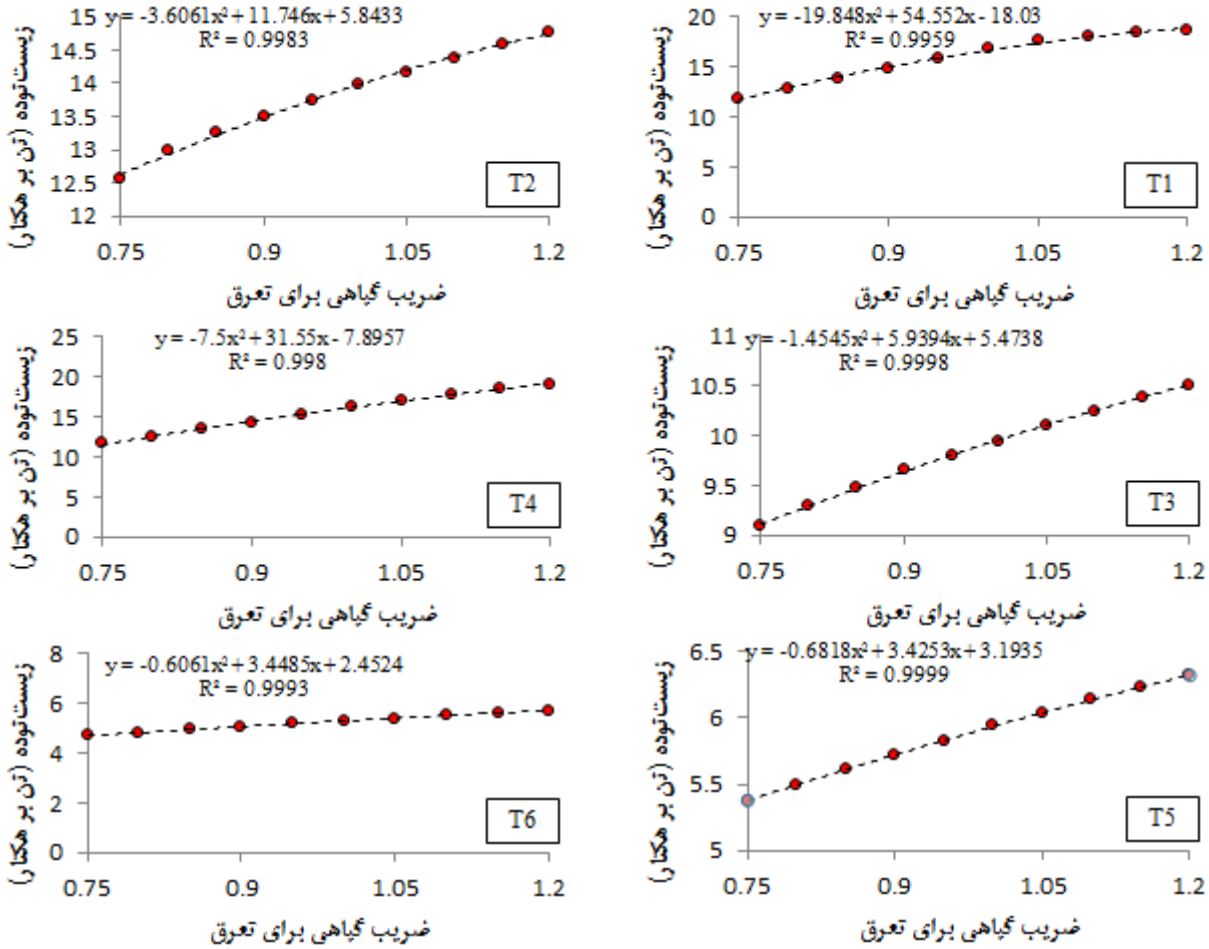
در شکل (۱) تغییرات زیست‌توده را نسبت به مقادیر مختلف *WP نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود؛ اثر تغییرات *WP بر زیست‌توده مثبت بود. بنابراین با تغییرات پارامتر *WP میزان زیست‌توده نیز افزایش یافت. مقادیر زیست‌توده برای تیمار T1 در محدوده ۱۸/۰۵-۱۱/۵۳ تن بر هکتار و برای تیمار T2 در محدوده ۱۴/۵۳-۹/۲۸ تن بر هکتار قرار داشت. به طور متوسط، مقادیر زیست‌توده در تیمار T1 نسبت به T2 حدود ۱۹ درصد بیشتر بود. مقادیر زیست‌توده برای تیمار T4 در محدوده ۱۷/۵۸-۱۱/۲۳ تن در هکتار بود. مقادیر زیست‌توده برای تیمار T1 نسبت به T4 به طور متوسط حدود ۳ درصد بیشتر بود. با توجه به این نتایج، دامنه تغییرات زیست‌توده در دو تیمار T1 و T4 بیشتر از سایر تیمارها بود. این نتایج نشان داد که در حالت تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، حساسیت مدل

AquaCrop بـه تغییـرات پـارامتر *WP خیلـی زیـاد اسـت. میـزان حساسیت این مدل در شرایط کم‌آبیاری کاهش یافت. ایـن نتـایج بـه نوع سیستم آبیاری بستگی نداشت. مقایسه معادلات خطوط نشان داده شده در شکل (۱) این نتایج را تأیید می‌کند. مقدار شیب خط بـرای دو تیمار T1 و T4 بسیار نزدیک به هم و بیشتر از سایر تیمارها بود.



شکل ۱- اثر تغییر پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده بر نتایج شبیه‌سازی عملکرد زیست‌توده گیاه گلرنگ تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری

بیشترین ضریب حساسیت مدل AquaCrop نسبت بـه تغییـرات پارامتر Kc به تیمار T4 (S_{pi}=1.17) و کمترین ضریب حساسـیت بـه تیمار T3 (S_{pi}=0.08) اختصاص داشت (جدول ۷). ضریب حساسـیت برای تیمار T4 در گروه خیلی زیاد و برای تیمار T3 در گروه متوسـط قرار داشت. دامنه تغییرات زیست‌توده بـرای تیمارهـای T1، T2، T3، T4، T5 و T6 به‌ترتیب برابـر بـا ۶/۴۹، ۲/۰۱، ۱/۲۸، ۶/۸۴، ۰/۸۵ و ۰/۹۳ بود. براساس این نتایج، ضریب حساسیت این مـدل نسـبت بـه پارامتر Kc با کاهش مقدار آب آبیاری کاهش یافت. نمـودار تغییـرات زیست‌توده نسبت به مقادیر مختلف Kc در شکل (۲) نشان داده شـده است. شیب خط برای دو تیمار T1 و T4 برای مقادیر پایین Kc زیـاد بود ولی با افزایش مقدار Kc مقادیر تغییر زیست‌تـوده کـاهش یافـت. بنابراین مـی‌تـوان انتظـار داشـت کـه بـا ادامـه ایـن رونـد، تغییـرات زیست‌توده به مقدار ثابتی برسد. این موضوع به دلیل کاهش مقدار آب در دسترس برای فرایند تعرق است (رحیمی‌خوب و همکاران، ۱۳۹۹). در سایر تیمارها، تغییرات زیست‌توده تقریباً روند ثابتی داشت. علت آن احتمالا توازن بین مقدار آب در دسترس و میزان تعرق گلرنـگ اسـت (رحیمی‌خوب و همکاران، ۱۳۹۹). با توجه به این نتایج، تغییـرات Kc زمانی اثر قابل توجهی بر تغییـرات زیسـت‌تـوده دارد کـه نیـاز کامـل آبیاری گلرنگ تأمین شود و مقدار Kc مقدار کمی داشته باشد. با توجه به اینکه مقدار Kc برای گیـاه گلرنـگ در محـدوده ۱/۱-۱ قـرار دارد (جدول ۳)؛ ضریب حساسیت بـرای ایـن گیـاه در گـروه‌هـای زیـاد و متوسط قرار دارد.

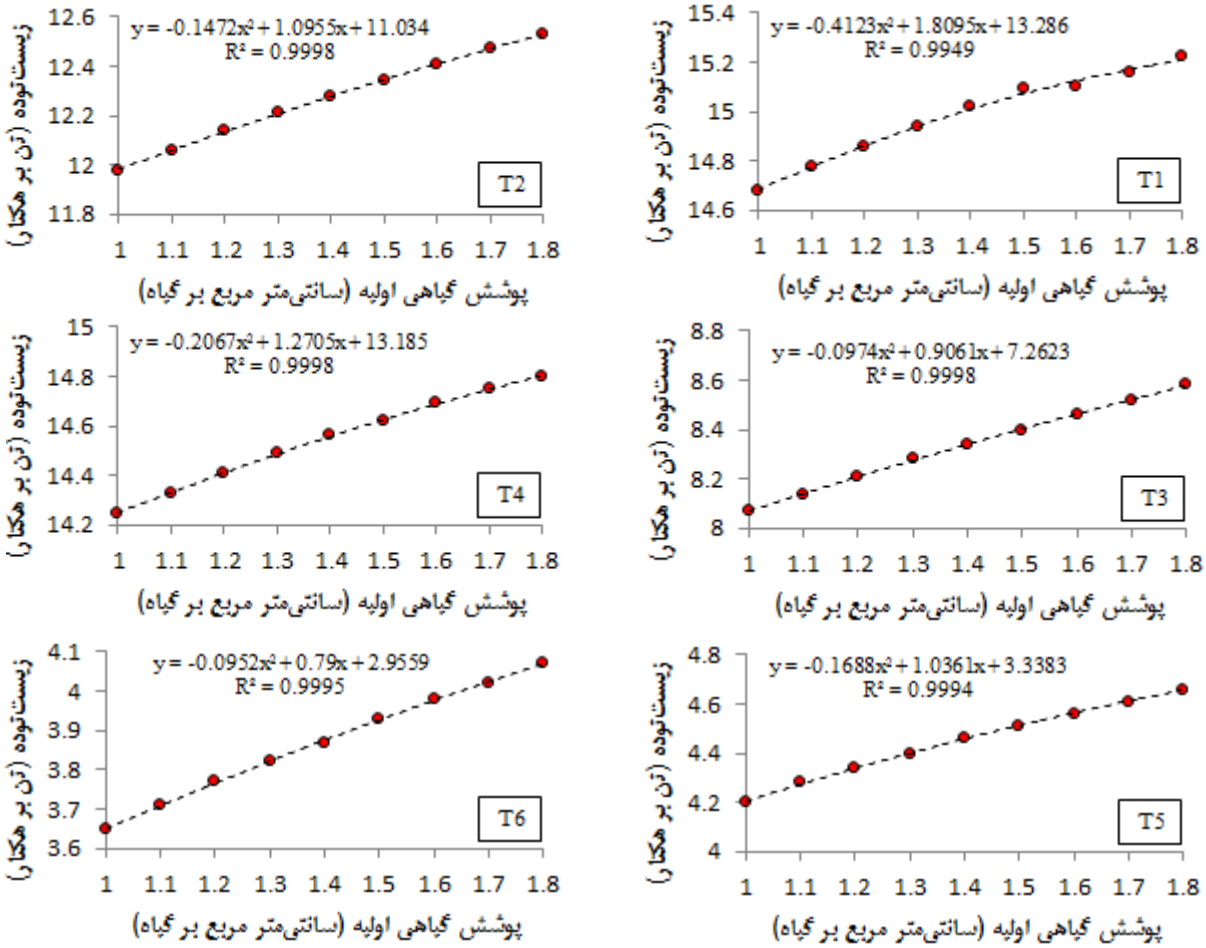


شکل ۲- اثر تغییر پارامتر حداکثر ضریب تعرق گیاهی بر نتایج شبیه‌سازی عملکرد زیست‌توده گیاه گلرنگ تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری

ضریب حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات CC_0 برای دو تیمار T1 و T4 در گروه کم و برای سایر تیمارها در گروه متوسط قرار داشت (شکل ۳). این نتایج با مشاهدات رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت داشت. این محققان برای گیاه ریحان گزارش کردند که حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات CC_0 متوسط بود. با توجه به نتایج، ضریب حساسیت این مدل برای این پارامتر در حالت کم‌آبیاری بیشتر می‌شود. مقدار تغییرات زیست‌توده برای تیمارهای T1، T2، T3، T4، T5 و T6 به‌ترتیب برابر با ۰/۵۴، ۰/۵۵، ۰/۵۱، ۰/۵۵، ۰/۴۶ و ۰/۴۲ تن بر هکتار بود. با توجه به این نتایج، گرچه تغییرات زیست‌توده با کاهش مقدار آب آبیاری افزایش یافت؛ لیکن این تغییرات برای همه تیمارها تقریباً مشابه بود. مقایسه این نتایج با تغییرات زیست‌توده در دو شکل (۱) و (۲) نشان داد که اثر پارامتر CC_0 نسبت به دو پارامتر WP* و Kc بسیار کم بود.

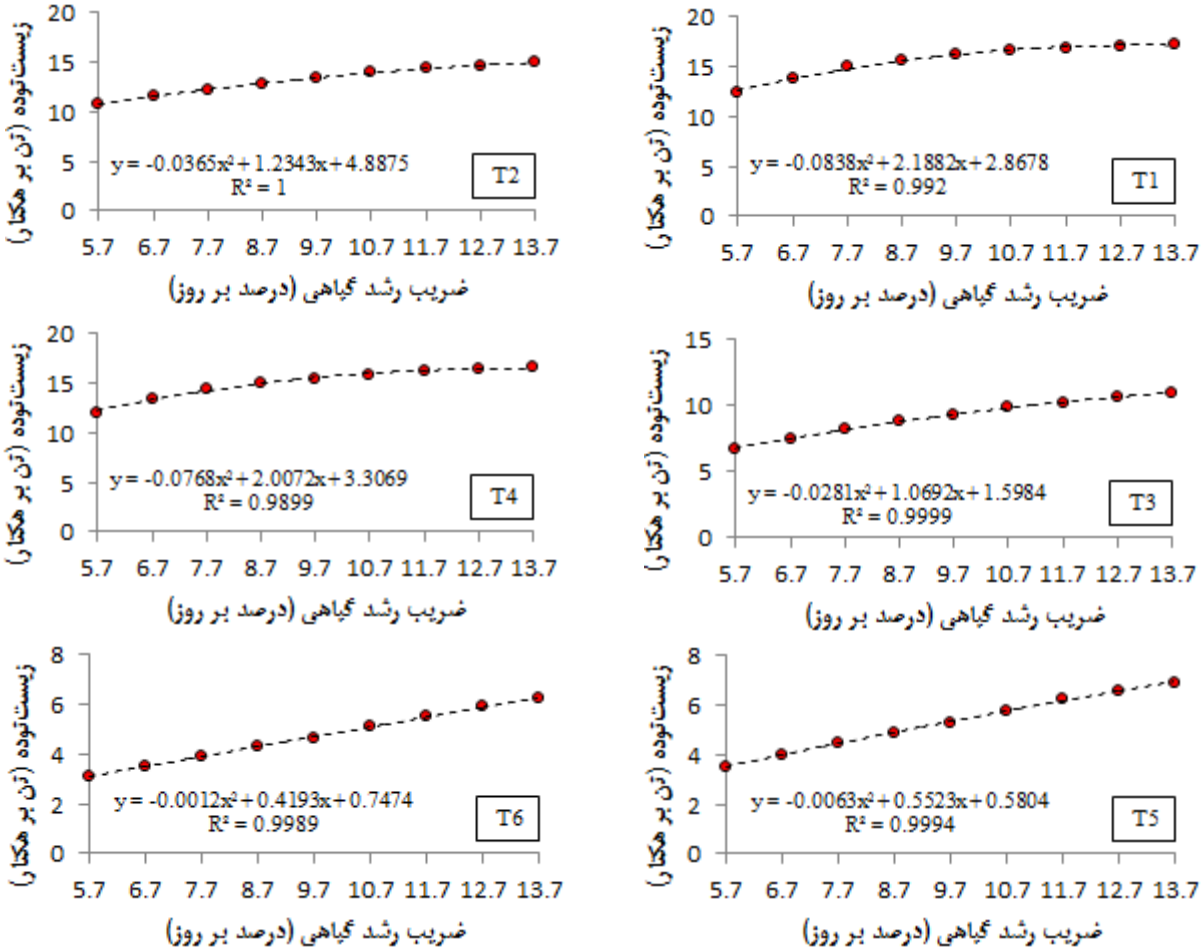
ضریب حساسیت برای پارامتر CGC برای همه تیمارها در گروه زیاد قرار داشت. روند مشخصی برای مقدار این ضریب در تیمارهای مختلف مشاهده نشد به‌طوری که بیشترین ضریب حساسیت در تیمار T1 (S_{pi}=0.71) و کمترین ضریب حساسیت در تیمار T2 (S_{pi}=0.42) مشاهده شد. تغییرات زیست‌توده برای این دو تیمار به‌ترتیب برابر با ۴/۸۵ و ۴/۲۰ تن در هکتار بود (شکل ۴). بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات این پارامتر به مقدار آب آبیاری وابسته نبود.

ضریب حساسیت برای پارامتر CDC نسبت به سایر پارامترها کمتر بود (شکل ۵). مقدار این ضریب برای همه تیمارها منفی بود. بنابراین، افزایش آن در همه تیمارها باعث کاهش زیست‌توده شد. ضریب حساسیت شبیه‌سازی زیست‌توده نسبت به تغییرات CDC برای تیمار T6 در گروه متوسط و برای سایر تیمارها در گروه کم قرار داشت (جدول ۶). با توجه به این نتایج، اگر شرایط دیم در نظر گرفته شود، تغییرات مقدار پارامتر CDC سبب تغییرات قابل توجهی در زیست‌توده گلرنگ می‌شود.



شکل ۳- اثر تغییر پارامتر پوشش گیاهی اولیه بر نتایج شبیه‌سازی عملکرد زیست‌توده گیاه گلرنگ تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری

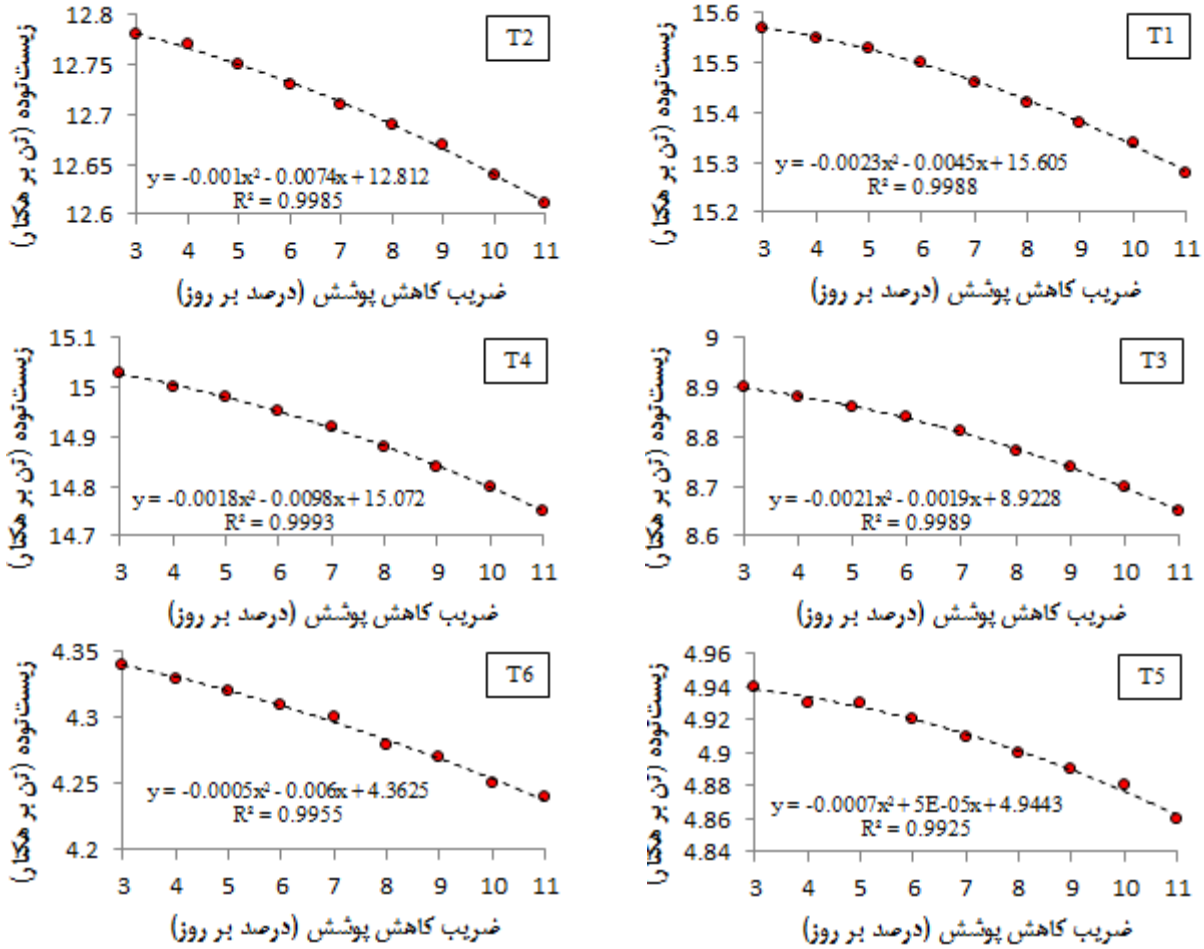
تجمیع نتایج در شکل (۶) نشان داد که در حالت کلی، پارامتر WP* بیشترین اثر را بر تغییرات زیست‌توده داشت. پس از این پارامتر، CGC و Kc قرار داشتند. کمترین مقدار حساسیت به پارامترهای CC_0 و CDC تعلق داشت. در مطالعات ابراهیمی پاک و همکاران (۱۳۹۷) و ژائو و همکاران پارامتر Kc، در مطالعات ژائو و همکاران و رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۹۹) پارامتر WP* و در مطالعات ابراهیمی‌پاک و همکاران (۱۳۹۷) پارامتر CGC بیشترین حساسیت را بر نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop داشتند (Guo et al., 2019). این نتایج بیانگر این است که میزان حساسیت هر پارامتر به نوع گیاه بستگی دارد. علاوه بر این، مقدار آب آبیاری نیز بر میزان حساسیت زیست‌توده به تغییرات هر پارامتر اثر داشت. با توجه به نتایج شکل (۶)، گرچه پارامتر WP* در تیمار T1 بیشترین حساسیت را بر زیست‌توده داشت لیکن این پارامتر در تیمار T4 حساسیت کمتری داشت. مقایسه این دو تیمار در پارامتر Kc نشان داد که حساسیت این پارامتر در تیمار T4 بیشتر از T1 بود. در واقع، اگر شبیه‌سازی با تیمار T1 انجام شود، پارامتر WP* بیشترین حساسیت را دارد. در حالی که اگر شبیه‌سازی برای تیمار T3 انجام شود پارامتر CGC بیشترین حساسیت را خواهد داشت. مقایسه پارامترهای CC_0، CGC و CDC، به‌عنوان سه پارامتر برای شبیه‌سازی پوشش گیاهی، نشان داد که اثر CGC بر مقادیر زیست‌توده نسبت به دو پارامتر دیگر بیشتر بود. پارامترهای CC_0 و CDC تقریباً اثر یکسانی بر مقادیر زیست‌توده نشان دادند. در نتیجه این دو پارامتر اثر یکسانی بر واسنجی مدل AquaCrop دارند.



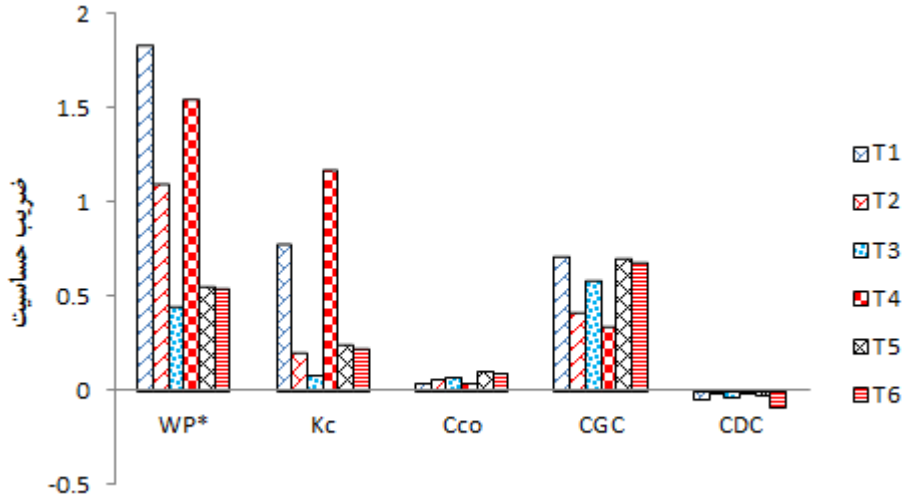
شکل ٤- اثر تغییر پارامتر ضریب رشد پوشش گیاهی بر نتایج شبیه‌سازی زیست‌توده گیاه گلرنگ تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری

نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش استفاده از مدل AquaCrop در شبیه‌سازی گیاهان زراعی، تحلیل حساسیت پارامترهای رشد گیاهان زراعی برای این مدل گیاهی اهمیت بسیاری دارد. با توجه به کمبود اطلاعات در خصوص گیاه گلرنگ، در این پژوهش حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییر پارامترهای رشد گیاهی بهره‌وری آب نرمال شده (WP*)، حداکثر ضریب تعرق گیاهی (K_{CTrx})، پوشش گیاهی اولیه (CC_0)، ضریب رشد پوشش گیاهی (CGC) و ضریب کاهش پوشش گیاهی (CDC) گلرنگ بررسی شد. با توجه به اینکه حساسیت مدل AquaCrop به تغییرات پارامترهای WP*، CGC و Kc بسیار زیاد بود؛ تخمین دقیق این سه پارامتر برای واسنجی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی رشد گلرنگ بسیار ضروری است. همچنین مقدار آب آبیاری بر میزان حساسیت مدل AquaCrop اثر شدیدی داشت. بنابراین پیشنهاد می‌شود که محققان مدل AquaCrop را در شرایط آبیاری کامل مورد واسنجی قرار دهند. این عمل سبب کاهش خطای شبیه‌سازی می‌گردد. در برخی شرایط، محققان با تغییرات اندک نتایج مدل AquaCrop در مرحله واسنجی روبرو می‌شوند؛ از این رو پیشنهاد می‌شود که دو پارامتر CC_0 و CDC برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر در این مرحله تغییر کنند.



شکل ۵- اثر تغییر پارامتر ضریب کاهش پوشش گیاهی بر نتایج شبیه‌سازی عملکرد زیست‌توده گیاه گلرنگ تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری



شکل ٦- مقایسه ضرایب حساسیت پارامترهای رشد گیاه گلرنگ تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری

منابع

ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، احمدی، م.، اگدرنژاد، ا. و خاشعی‌سیوکی، ع. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد زعفران تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری و مصرف زئولیت. مجله حفاظت منابع آب و خاک. ۸(۱): ۱۳۱-۱۱۷.

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

اگدرنژاد، ا.، ابراهیمی‌پاک، ن. ع.، تافته، آ. و احمدی، م. ۱۳۹۷. برنامه‌ریزی آبیاری کلزا با استفاده از مدل AquaCrop در دشت قزوین. مجله مدیریت آب در کشاورزی. ۵(۲): ۶۴-۵۳.

حاجی زاده، م.، رحیمی خوب، ع.، علی نیایی فرد، س. و وراوی پور، م. ۱۳۹۸. تعیین بهره وری آب نرمال شده و بررسی حساسیت مدل آکوکراپ برای گیاه تربچه. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳(۵): ۱۵۳۷-۱۵۲۷.

رحیمی‌خوب، ح.، سهرابی، ت. و دلشاد، م. ۱۳۹۹. تحلیل حساسیت پارامترهای رشد گیاه ریحان در مدل AquaCrop تحت تنش‌های مختلف کود نیتروژن. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱(۶): ۱۳۵۱-۱۳۴۱.

سیاحی، ح.، اگدرنژاد، ا. و ابراهیمی‌پاک، ن. ع. ۱۳۹۹. مقایسه دو مدل AquaCrop و SWAP در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب چغندرقند تحت دورهای مختلف آبیاری. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۴(۱۴): ۱۳۲۱-۱۳۱۱.

طاهری، ش.، غلامی، ا.، عباس‌دخت، ح. و مکاریان، ح. ۱۳۹۷. کاهش اثرات تنش کمبود آب در ارقام گلرنگ (Carthamus tinctorius L.) با استفاده از پرایمینگ بذر. مجله به‌زراعی کشاورزی. ۲۰(۲): ۵۰۲-۴۸۷.

کریمی اورگانی، ح.، رحیمی خوب، ع. و نظری فر، م. ه. ۱۳۹۵. واسنجی و صحت سنجی مدل آکواکراپ برای جو در منطقه پاکدشت. مجله تحقیقات آب و خاک ایران ۴۷(۳): ۵۴۹-۵۳۹.

محتشمی، ف.، تدین، م. و روشندل، پ. ۱۳۹۷. ارزیابی تأثیر سطوح کم‌آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گلرنگ. مجله به‌زراعی کشاورزی. ۲۰(۲): ۵۶۱-۵۴۷.

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

Araya, A., Habtu, S., Hadgu, K.M., Kebede, A., and Dejene, T. 2010. Test of AquaCrop model in simulating biomass and yield of water deficit and irrigated barely. Agricultural Water Management. 97:1838–1846.

Beven K. 1979. A sensitivity analysis of the Penman-Monteith actual evapotranspiration estimates. Journal of Hydrology. 44(3-4): 169-190.

Ghamarnia, H. and Sepehri, S. 2010. Different irrigation regimes affect water use, yield and other yield components of safflower (Carthamus tinctorius L.) crop in a semi-arid region of Iran. Journal of Food, Agriculture and Environment. 8(2): 590-593.

Guo, D., Zhao, R., Xing, X., and Ma, X. 2019. Global sensitivity and uncertainty analysis of the AquaCrop model for maize under different irrigation and fertilizer management conditions. Archives of Agronomy and Soil Science, 1-19.

Heng, L. k., Hsiao, T. C., Evett, S., Howell, T. and Steduto, P. 2009. Validating the FAO AquaCrop model for Irrigated and Water Deficient field maize. Agronomy. 101(3): 488-498.

Hsiao, T. C., Heng, L. K., Steduto, P., Raes, D. and Fereres, E. 2009. AquaCrop-Model parameterization and testing for maize. Agronomy. 101: 448-459.

Jin, X., Li, Z., Nie, C., Xu, X., Feng, H., Guo, W., and Wang, J. 2018. Parameter sensitivity analysis of the AquaCrop model based on extended fourier amplitude sensitivity under different agro-meteorological conditions and application. Field Crops Research, 226: 1-15.

Katerji, N., Campi, P. and Mastrorilli, M. 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.

Lenhart, T., Eckhardt, K., Fohrer, N. and Frede, H. 2002. Comparison of two different approaches of sensitivity analysis. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C. 27(9-10): 645-654.

Masanganise, J., Basira, K., Chipindu, B., Mashonjowa, E., and Mhizha, T. 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.

Masasi, B., Taghvaeian, S., Gowda, P. H., Marek, G. and Boman, R. 2020. Validation and application of AquaCrop for irrigated cotton in the Sothern Great Plains of US. Irrigation Science. 38: 593-607.

management of Winter wheat in arid region. African Journal of Agricultural Research, 610: 2204-2215.

Todorovic, M., Albrizio, R., Zivotic, L., Abisaab. M. and Stwckle, C. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST models in the simulation of sunflower growth under different water regimes. Agronomy. 101: 509-521.

Walker, W. R. and Skogerboe, G. V. 1987. Surface Irrigation: Theory and practice. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall Inc. xiii, 386p.

Mousavi Zadeh Mojarad, R. A., Feizi, M. and Ghobadinia, M. 2018. Prediction of safflower yield under different saline irrigation strategies using AquaCrop model in semi-arid regions. Australian Journal of Crop Science. 12(8): 1241-1249.

Raes, D., Steduto P., Hsiao, T. C. and Freres, E. 2012. Reference manual AquaCrop, FAO, land and water division, Rome Italy.

Salemi, H., Mohd Soom, M.A., Lee, T.S., Mousavi, S.F., Ganji, A., and KamilYusoff, M. 2011. Application of AquaCrop model in deficit irrigation

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 3, Vol. 15, Aug.-Sep. 2021, p. 611-623

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۳، جلد ۱۵، مرداد - شهریور ۱۴۰۰، ص. ۶۲۳-۶۱۱

Sensitivity Analysis of Safflower Growth Parameters in AquaCrop Model with Different Irrigation Managements

A .Behmanesh[1], A .Egdernezhad[2*], S .Sepehri Sadeghiyan[3]

Recived: Feb.12, 2021 Accepted: Apr.03, 2021

Abstract

AquaCrop model is one of the water-driven models that has been developed to simulate the growth of crops under different amounts of irrigation water. However, to use this model, it is necessary to perform calibration. For calibration, it is necessary to determine the sensitivity of changing in input parameters. Therefore, the present study performed to evaluate the sensitivity of AquaCrop in simulating safflower biomass to changes in crop growth parameters. So, normalized water productivity (WP*), maximum transpiration coefficient (Kc_{Trx}), initial canopy cover (CC_0), crop growth coefficient (CGC) and crop reduction coefficient (CDC) was evaluated using Baven method. In this study, data collected from an agricultural research station in Kermanshah, Iran, was used. Data consisted of surface drip irrigation at three levels (T1, T2 and T3 represent the supply of 100, 66 and 33% of water requirement, respectively), furrow irrigation at two levels (T4: 100% water supply and T5: application of 50 mm irrigation water at the same time in flowering period) and rainfed (T6). The results showed that AquaCrop was the most sensitive to change WP*. The lowest sensitivity was assigned to CDC. The sensitivity of this model to CDC parameter changes was negative and for other treatments was positive. Therefore, increasing the amount of CDC decreased safflower biomass while increasing other parameters increased safflower biomass. The sensitivity of each parameter depended on the irrigation treatment. So that increasing the amount of irrigation water for WP* and Kc increased the sensitivity.

Keywords: Baven Method,Normalized Water Productivity, Rainfed, Transpiration Coefficient

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