نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص. ۵۸-۴۵

Water Management in Agriculture
Vol. 9, No. 2, Autumn and Winter 2023, 45-58

مقاله علمی-پژوهشی

تحلیل حساسیت پارامترهای رشد سیب‌زمینی با مدل AquaCrop تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری (مطالعه موردی: شهرکرد)

ناجی بوعذار[۱]، اصلان اگدرنژاد[۲]*و سعید برومندنسب[۳]

چکیده

تحلیل حساسیت یکی از مراحل آماده‌سازی مدل گیاهی قبل از واسنجی است که به محققان کمک می‌نماید تا اطلاعات دقیق‌تری نسبت به اثرات هر پارامتر بر نتایج شبیه‌سازی شده پیدا نموده و سبب افزایش دقت مدل در مرحله واسنجی شود. به دلیل ویژگی‌های مدل AquaCrop، پژوهشگران از آن برای شبیه‌سازی رشد گیاهان در مدیریت‌های مختلف آبیاری استفاده می‌نمایند. این پژوهش با هدف بررسی تحلیل حساسیت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی زیست‌توده سیب‌زمینی نسبت به تغییرات 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) با استفاده از روش باون انجام شد. در این پژوهش از داده‌های برداشت شده از یک مزرعه تحقیقاتی در منطقه چهارتخته شهرکرد استفاده شد. این پژوهش شامل دو فاکتور روش آبیاری (قطره‌ای سطحی و زیرسطحی) و سطوح مختلف آب آبیاری (تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۵ درصد نیاز آبی) بود. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop نسب به تغییرات پارامتر WP* بیشترین حساسیت و کمترین حساسیت نیز به دو پارامتر CC_0 و CDC اختصاص داشت. روند تغییرات زیست‌توده نسبت به CDC معکوس و نسبت به سایر پارامترها هم‌جهت بود. افزایش تنش آبی در پارامترهای WP* و K_{CTrx} سبب کاهش حساسیت مدل شد. بنابراین برای واسنجی مدل AquaCrop در شرایط اختلاف زیاد بین مقادیر شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی بهتر است پارامتر WP* تغییر داده شود. در غیر این صورت تغییر سایر پارامترها پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، آبیاری قطره‌ای سطحی، بهره‌وری آب نرمال‌شده، روش باون، مدل‌سازی گیاهی

مقدمه

امروزه استفاده از مدل‌های گیاهی برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی بسیار رایج است. این مدل‌ها به‌عنوان ابزارهای مفیدی هستند که سبب افزایش سرعت محاسبات و بهبود تصمیم‌گیری محققان برای مصرف بهینه آب در شرایط فعلی (اگدرنژاد و همکاران، ۱۳۹۷) و تغییر اقلیم می‌شود (ابراهیمی پاک و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به اینکه هر مدل گیاهی برای شبیه‌سازی به پارامترهای محیطی و مدیریتی به‌عنوان ورودی مدل وابسته است؛ تغییر این پارامترها سبب ایجاد عدم قطعیت در آن‌ها می‌شود (Guo et al., 2020). بنابراین لازم است تحلیل حساسیت برای رفع مشکلات عدم قطعیت انجام شود. نتایج تحلیل حساسیت مشخص می‌کند که هر پارامتر ورودی تا چه اندازه بر نتایج مدل گیاهی مورد نظر اثر داشته است. بنابراین محقق در مرحله واسنجی به‌راحتی می‌تواند در خصوص افزایش یا کاهش مقدار پارامتر مورد نظر تصمیم‌گیری کند.

مدل گیاهی AquaCrop یکی از مدل‌های پرکاربرد است که توسط سازمان خواروبار کشاورزی ملل متحد برای شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی نسبت به مقدار آب آبیاری بسط داده شده است (ابراهیمی پاک و همکاران، ۱۳۹۸). داده‌های مورد نیاز برای استفاده از مدل AquaCrop به دو دسته ثابت و غیرثابت تقسیم می‌شوند.

[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
(* نویسنده مسئول: a_eigder@ymail.com)
[۳] استاد، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران
** مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبیاری و زهکشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۷
DOR: 20.1001.1.24764531.1401.9.2.4.7

داده‌های ثابت در این مدل توسط بسط‌دهندگان آن تعیین و پیشنهادشده که برای شبیه‌سازی تغییر نکنند. داده‌های غیرثابت در هر شبیه‌سازی باید به‌وسیله واسنجی برآورد شوند (Raes et al., 2012). علی‌رغم این، برخی تحقیقات از جمله رحیمی خوب و همکاران (۱۳۹۹) نشان داده است که کلیه داده‌های ورودی مدل AquaCrop در شرایط محیطی مختلف ثابت نیستند و برای واسنجی باید تغییر داده شوند. بدین ترتیب، پیش از واسنجی این مدل گیاهی باید اثر تغییرات پارامترهای ورودی آن بر مقادیر خروجی مورد تحلیل حساسیت قرار گیرد.

تابع اصلی مدل AquaCrop بر اساس میزان آب مصرف‌شده توسط گیاه (Tr) در مراحل مختلف رشد برای دو گروه از گیاهان (C3 و C4) تعریف شده است (ابراهیمی‌پاک و همکاران، ۱۳۹۷). برای هر گروه از گیاهان ضریبی به نام بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*) تعیین می‌شود که مقدار آن بر تولید زیست‌توده روزانه اثرگذار است. در مدل AquaCrop برای تعیین میزان تعرق، به‌جای شاخص سطح برگ، از پارامتری به نام پوشش گیاهی (CC) استفاده می‌شود که بر اساس پارامترهای پوشش گیاهی اولیه (CC_0)، ضریب رشد پوشش گیاهی (CGC) و ضریب کاهش پوشش گیاهی (CDC) در مراحل مختلف رشد باید تعیین شود (احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). ازاین‌رو، تجربیات برخی محققان نشان داده است که اطلاع دقیق از حساسیت مدل AquaCrop به پارامترهای Tr، WP^*، CC_0، CGC و CDC اثر مهمی بر دقت و سرعت واسنجی این مدل گیاهی دارد (رحیمی‌خوب و همکاران، ۱۳۹۹؛ احمدی و همکاران، ۱۴۰۰). این مهم سبب شده است تا توجه پژوهشگران در سال‌های اخیر بر این موضوع معطوف شود. ازجمله این پژوهش‌ها می‌توان به مشاهدات رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۹۹) اشاره کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که خروجی مدل AquaCrop نسبت به تغییرات پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده و ضریب گیاهی برای تعرق، بیشترین حساسیت را دارد. ژائو و همکاران نشان دادند که مدل AquaCrop نسبت به تغییرات پارامترهای ضریب گیاهی برای تعرق، ضریب رشد پوشش گیاهی و ضریب زوال پوشش گیاهی حساسیت زیادی داشت (Guo et al., 2020). نتایج پژوهش‌های جین و همکاران و سالمی و همکاران نشان داد که تغییرات پارامترهای پوشش گیاهی و ضریب گیاهی برای تعرق، بیشترین اثر را بر نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop داشت (Jin et al., 2018; Salemi et al., 2011).

بر اساس بررسی منابع انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که برخی پارامترهای ثابت که عمدتاً در مرحله واسنجی مدل AquaCrop توسط پژوهشگران بدون تغییر باقی می‌ماند، روی نتایج این مدل گیاهی بسیار اثرگذار هستند. ازاین‌رو، شناخت آن‌ها برای هر گیاه زراعی و در شرایط مختلف مدیریت مزرعه اهمیت زیادی دارد. سیب‌زمینی یکی از گیاهانی است که در پایگاه داده مدل AquaCrop قرار گرفته است. این گیاه زراعی یک‌ساله، پس از ذرت، برنج و گندم مهم‌ترین محصول زراعی جهان است. بر اساس آمار منتشرشده، ایران با تولید سالیانه حدود پنج میلیون تن سیب‌زمینی، سیزدهمین تولیدکننده این محصول در جهان است (FAO, 2018). با توجه به اهمیت گیاه سیب‌زمینی، برخی پژوهشگران در داخل (انصاری و همکاران، ۱۳۹۸؛ انصاری و همکاران، ۱۳۹۹؛ نیسی و همکاران، ۱۴۰۰) و خارج از کشور (Razzaghi et al., 2017) به شبیه‌سازی رشد و نمو آن توسط مدل AquaCrop پرداخته‌اند. لیکن اهمیت تغییر پارامترهای ثابت مانند بهره‌وری آب نرمال شده، ضریب گیاهی برای تعرق، ضریب رشد و زوال پوشش گیاهی و همچنین پوشش گیاهی اولیه نادیده گرفته شده است. لذا، هدف این پژوهش تحلیل حساسیت گیاه سیب‌زمینی نسبت به تغییرات پارامترهای اشاره شده است. نظر به اینکه، عملکرد این گیاه زراعی به مقدار آب آبیاری بسیار وابسته است (Tourneux et al., 2003)؛ تحلیل حساسیت در مقادیر مختلف آب آبیاری و تحت مدیریت دو سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی انجام شد.

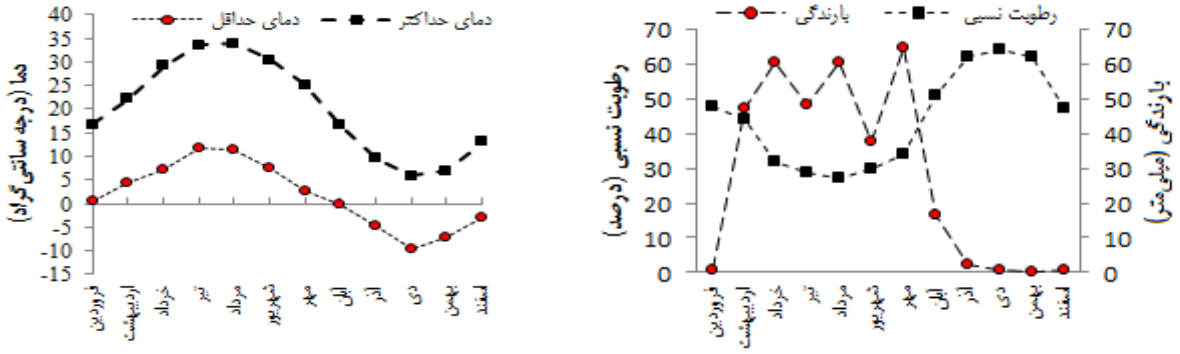
مواد و روش‌ها

عملیات مزرعه‌ای

پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های برداشت‌شده از دو طرح تحقیقاتی اجراشده در سال‌های زراعی ۹۴-۱۳۹۳ و ۹۹-۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته شهرکرد انجام شد (حقیقتی‌بروجنی و همکاران، ۱۳۹۴؛ خیری‌شلمزاری و همکاران، ۱۳۹۹). این ایستگاه در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری در پنج کیلومتری شرق شهرکرد با مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی با ارتفاع

۲۰۹۰ متر از سطح دریا قرار گرفته است. این منطقه اقلیم نیمه مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد دارد. برخی از مشخصات هواشناسی منطقه در شکل (۱) نشان داده شده است. در هر سال قبل از کاشت ابتدا زمین تسطیح و سپس بر اساس نتایج نمونه‌های مرکب خاک (جدول ۱)، مقدار کودهای موردنیاز و طبق روش آزمون خاک تعیین شد. فسفر و پتاسیم موردنیاز به‌ترتیب از منبع سوپر فسفات تریپل و سولفات پتاسیم و قبل از کشت به زمین داده شد. نیتروژن موردنیاز از منبع اوره و در سه مرحله: قبل از کاشت، مرحله‌ی خاک‌دهی و قبل از گل‌دهی در اختیار گیاه قرار گرفت. عناصر ریزمغذی آهن، روی، مس و منگنز به‌ترتیب از منبع سولفات آهن، سولفات روی، سولفات مس و سولفات منگنز تهیه و قبل از کاشت مصرف شد. بذر مورد استفاده شامل رقم بورن[1] بود و قبل از کاشت ضدعفونی و سپس استفاده می‌شد. عملیات کاشت در تاریخ ۲۵ خرداد و به‌صورت مکانیزه توسط دستگاه انجام شد. میزان بذر مصرفی ۴/۸ تن در هکتار بود.

ابعاد کرت‌ها برابر با (۴ در ۱۰) مترمربع و در داخل هر کرت چهار ردیف کاشت، با فاصله ردیف‌های ۷۵ و فاصله بوته‌های ۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. در این پژوهش از روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی تحت سه مدیریت آبیاری FI (تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، RDI80 (تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی) و RDI65 (تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی) استفاده شد. برای اجرای آبیاری قطره‌ای سطحی، از لوله‌های قطره‌چکان‌دار به طول ۱۰ متر با قطر ۱۶ میلی‌متر، با فاصله روزنه‌های ۲۰ سانتی‌متر و دبی ۱/۸۵ لیتر در ساعت و در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی لوله‌ها در عمق ۲۰ سانتی‌متری زیر خاک برای هر ردیف کشت، استفاده شد. اندازه‌گیری و کنترل مقدار آب آبیاری در هر تیمار توسط شیرهای قطع و وصل جریان و کنتور حجمی تعبیه‌شده روی لوله‌های انتقال آب انجام شد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری مورد استفاده در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل ۱- مشخصات هواشناسی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

بافت خاک	Clay	Silt	Sand	Zn	Fe	Mn	کربن آلی	پتاسیم قابل‌جذب	فسفر قابل‌جذب	EC
		درصد		میلی‌اکی‌والانت بر لیتر			درصد	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر		دسی‌زیمنس بر متر
سیلتی رسی	۴۵	۴۲/۳	۳/۷	۱/۳۶	۱۱/۹	۷/۸	۱/۳۸	۴۴۰	۲۶	۱/۲

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب آبیاری

سدیم محلول	مجموع کاتیون‌ها	Na	Mg +Ca	مجموع آنیون‌ها	SO_4	CL	HCO_3	CO_3	PH	TDS	EC
درصد	میلی‌اکی‌والانت بر لیتر									میلی‌گرم بر لیتر	دسی‌زیمنس بر متر
۱۱/۷	۹/۲۳	۱/۰۸	۸/۱۵	۹/۲۳	۱/۱۸	۱/۹	۶/۱۵	۰	۷/۱	۶۴۰	۱

1- Burren

جهت تعیین عمق خالص آبیاری برای تیمار تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (FI)، در هر نوبت آبیاری با هدف جایگزین نمودن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد ظرفیت زراعی از رابطه زیر استفاده شد:

$$dn = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times Z_r \quad (۱)$$

در این رابطه dn: عمق خالص آبیاری (mm)، θ_i: رطوبت وزنی قبل از آبیاری، θ_{fc}: رطوبت وزنی خاک در ظرفیت زراعی، ρ_b: وزن مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) و Z_r: عمق ریشه (mm) است.

برنامه آبیاری بر اساس محاسبات کاهش رطوبت در منطقه ریشه در حد رطوبت سهل‌الوصول انجام شد. مرز پایین رطوبت سهل‌الوصول (تخلیه مجاز) از رابطه زیر محاسبه شد:

$$\theta_m = [\theta_{fc} - MAD(\theta_{fc} - \theta_{pwp})] \quad (۲)$$

که در آن θ_m: مرز پایین رطوبت سهل‌الوصول، θ_{fc} و θ_{pwp}: به‌ترتیب رطوبت در نقطه ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم و MAD: ضریب حداکثر تخلیه مجاز است. نمونه‌گیری از بوته‌ها در مهر هر سال انجام شد. برای این کار، چهار بوته از هر کرت آزمایشی انتخاب و نمونه‌ها برداشت شد. غده‌های سیب‌زمینی در کیسه‌ها پلاستیکی قرار داده شده و به آزمایشگاه منتقل شدند. سپس با استفاده از ترازو دیجیتال با دقت ۰/۱ کیلوگرم توزین شدند.

مدل AquaCrop

مدل AquaCrop برای تعیین عملکرد محصول، از تبخیر- تعرق به‌صورت زیر استفاده می‌کند (Raes et al., 2012).

$$B = WP^* \sum_{i=1}^{n} \frac{Tr_i}{ETo_i} \quad (۳)$$

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 در مدل AquaCrop با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (Raes et al., 2012):

$$T_{ri} = K_s \times CC \times K_{CTrx} \times ET_{0i} \quad (۴)$$

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. به همین دلیل در این مدل گیاهی از سه رابطه به شرح زیر برای تعیین این پارامتر استفاده می‌شود (Raes et al., 2012):

$$CC = CC_0 \times e^{tCGC} \quad (۵)$$

$$CC = CC_x - 0.25 \frac{CC_x^2}{CC_0} \times e^{-tCGC} \quad (۶)$$

$$CC = CC_x \left[1 - 0.05 \left(e^{\frac{CDC}{CCx} \times t} - 1\right)\right] \quad (۷)$$

در این روابط، CC_0 پوشش گیاهی اولیه (سانتی‌متر مربع برای هر بوته)، CGC ضریب رشد پوشش گیاهی (درصد روز)، CDC ضریب کاهش پوشش گیاهی (درصد روز) و t زمان است. از رابطه‌های (۴) تا (۷) 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 به‌روابط 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 (۳) نشان داده شده است. میزان نمو هر پارامتر نیز بر اساس ماهیت آن و اثرگذاری مقادیر پارامتر بر نتایج خروجی تعیین شد.

به‌منظور تحلیل حساسیت از رابطه ۱۱ ارائه‌شده توسط باون (Beven, 1979) استفاده شد.

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

جدول ۳- مقادیر اولیه و دامنه تغییرات پارامترهای مورد مطالعه

پارامتر	علامت	واحد	مقدار اولیه	حد پایین	حد بالا	نمو تغییرات
بهره‌وری آب نرمال شده	WP*	گرم بر مترمربع	۳۳/۰۰	۳۱/۰۰	۳۵/۰۰	۱/۰۰
ضریب گیاهی برای تعرق	K_{CTrx}	-	۱/۰۵	۰/۹۵	۱/۱۵	۰/۰۵
پوشش گیاهی اولیه	CC_0	سانتی‌متر مربع	۰/۴۹	۰/۲۹	۰/۶۹	۰/۱۰
ضریب رشد پوشش گیاهی	CGC	درصد بر روز	۱۵/۶۰	۱۳/۶۰	۱۷/۶۰	۱/۰۰
ضریب کاهش پوشش گیاهی	CDC	درصد بر روز	۱۱/۶۰	۹/۶۰	۱۳/۶۰	۱/۰۰

بهره‌وری آب نرمال شده (Normalized Water Productivity)، ضریب گیاهی برای تعرق (Basal Crop Coefficient for Transpiration)، پوشش گیاهی اولیه (Initial Canopy Cover)، ضریب رشد پوشش گیاهی (Canopy Growth Coefficient)، ضریب کاهش پوشش گیاهی (Canopy Decline Coefficient)

در این رابطه، S_{pi} ضریب حساسیت، P_i پارامتر موردبررسی و y مقدار زیست‌توده است. مقادیر S_{pi} برحسب نوع پارامتر می‌تواند مثبت یا منفی باشد. مقادیر مثبت نشان‌دهنده افزایش زیست‌توده با تغییر پارامتر مورد نظر است. مقادیر منفی نیز نشان‌دهنده کاهش زیست‌توده با تغییرات پارامتر مورد نظر است. مقدار ضریب حساسیت با توجه به جدول (۴) در چهار گروه کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرند (Lenhart et al., 2002).

جدول ٤- طبقه‌بندی ضریب حساسیت

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

نتایج و بحث

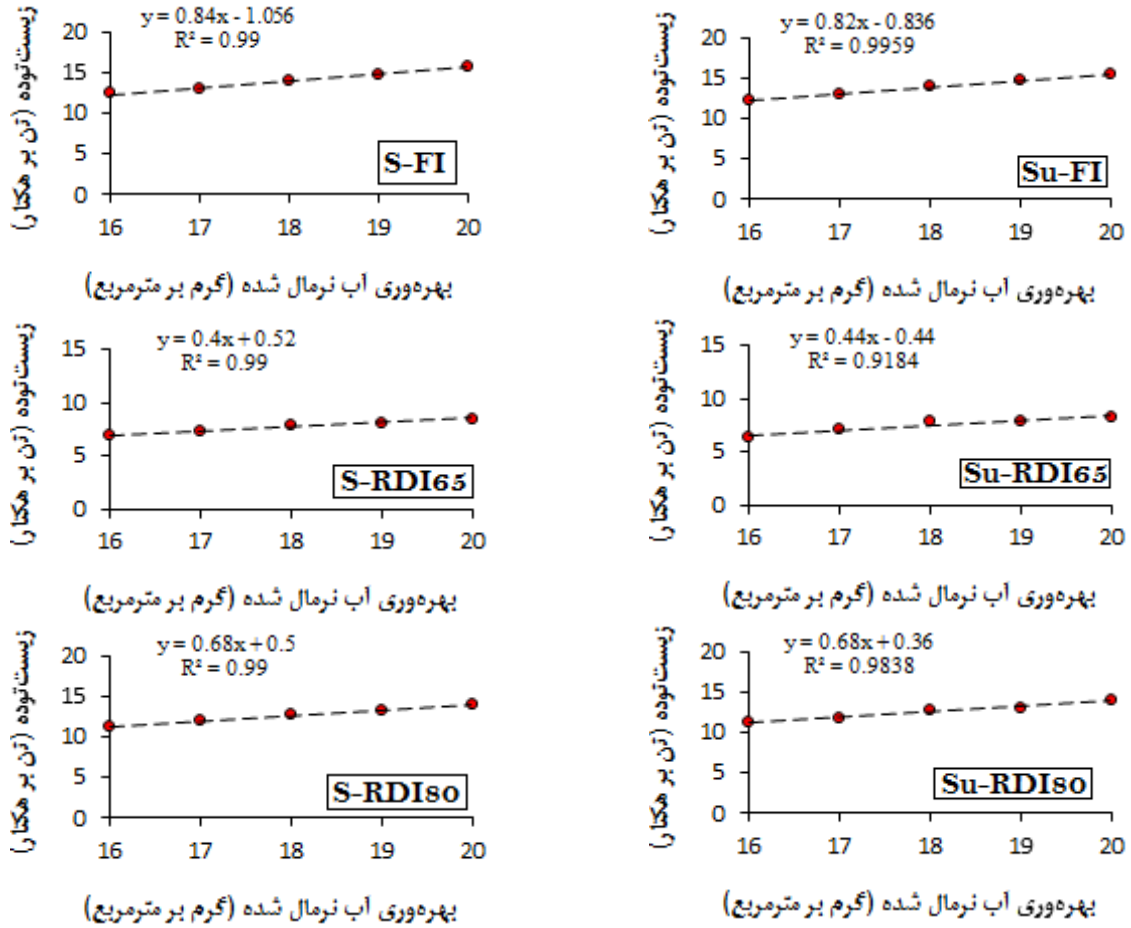
به‌منظور بررسی اثر تغییرات پارامترهای رشد بر نتایج شبیه‌سازی زیست‌توده گیاه سیب‌زمینی، مقادیر هر پارامتر بر اساس نمو ذکرشده در جدول (۳) تغییر داده شد. این مقادیر در مدل AquaCrop وارد شده و با استفاده از این مدل گیاهی زیست‌توده گیاه سیب‌زمینی شبیه‌سازی شد. ضریب حساسیت پارامترهای رشد سیب‌زمینی برای تیمارهای مورد بررسی با استفاده از روش باون (رابطه ۱۱) تعیین و در جدول (۵) ارائه شده است. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد که مدل AquaCrop نسبت به تغییرات پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده (WP*) بیشترین حساسیت را داشت. پس از آن نیز، بیشترین حساسیت را به تغییرات حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (K_{CTrx}) نشان داد. پارامتر ضریب رشد گیاهی (CGC) نیز بر نتایج مدل AquaCrop تأثیرگذار بود. دو پارامتر پوشش گیاهی اولیه (CC_0) و ضریب زوال پوشش گیاهی (CDC) اثر کمی بر نتایج مدل AquaCrop داشتند. پارامتر ضریب رشد گیاهی (CGC) اثر معکوسی بر نتایج مدل AquaCrop داشته و در واقع حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات این پارامتر منفی بود. برای هر دو پارامتر بهره‌وری آب نرمال شده (WP*) و حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (K_{CTrx}) با افزایش تنش آبی میزان حساسیت مدل AquaCrop کاهش یافت. لیکن حساسیت مدل AquaCrop به افزایش تنش آبی در پارامترهای پوشش گیاهی اولیه (CC_0)، ضریب رشد گیاهی (CGC) و ضریب زوال پوشش گیاهی (CDC) افزایش یافت.

جدول ۵- ضرایب حساسیت پارامترهای رشد گیاه سیب‌زمینی

تیمار		پارامترهای رشد گیاه*				
		WP*	K_{CTrx}	CC_0	CGC	CDC
آبیاری قطره‌ای سطحی	FI	۱/۲۲	۰/۶۵	۰/۰۲	۰/۴۳	-۰/۰۲
	RDI80	۱/۰۳	۰/۴۳	۰/۰۴	۰/۴۹	-۰/۰۲
	RDI65	۰/۷۴	۰/۳۸	۰/۰۵	۰/۵۵	-۰/۰۵
آبیاری قطره‌ای زیرسطحی	FI	۱/۲۸	۰/۶۹	۰/۰۲	۰/۴۵	-۰/۰۳
	RDI80	۱/۰۷	۰/۴۵	۰/۰۵	۰/۵۲	-۰/۰۳
	RDI65	۰/۷۶	۰/۳۹	۰/۰۷	۰/۵۷	-۰/۰۶

* این پارامترها به ترتیب نشان‌دهنده بهره‌وری آب نرمال شده (Normalized Water Productivity)، ضریب گیاهی برای تعرق (Basal Crop Coefficient for Transpiration)، پوشش گیاهی اولیه (Initial Canopy Cover)، ضریب رشد پوشش گیاهی (Canopy Growth Coefficient)، ضریب کاهش پوشش گیاهی (Canopy Decline Coefficient)

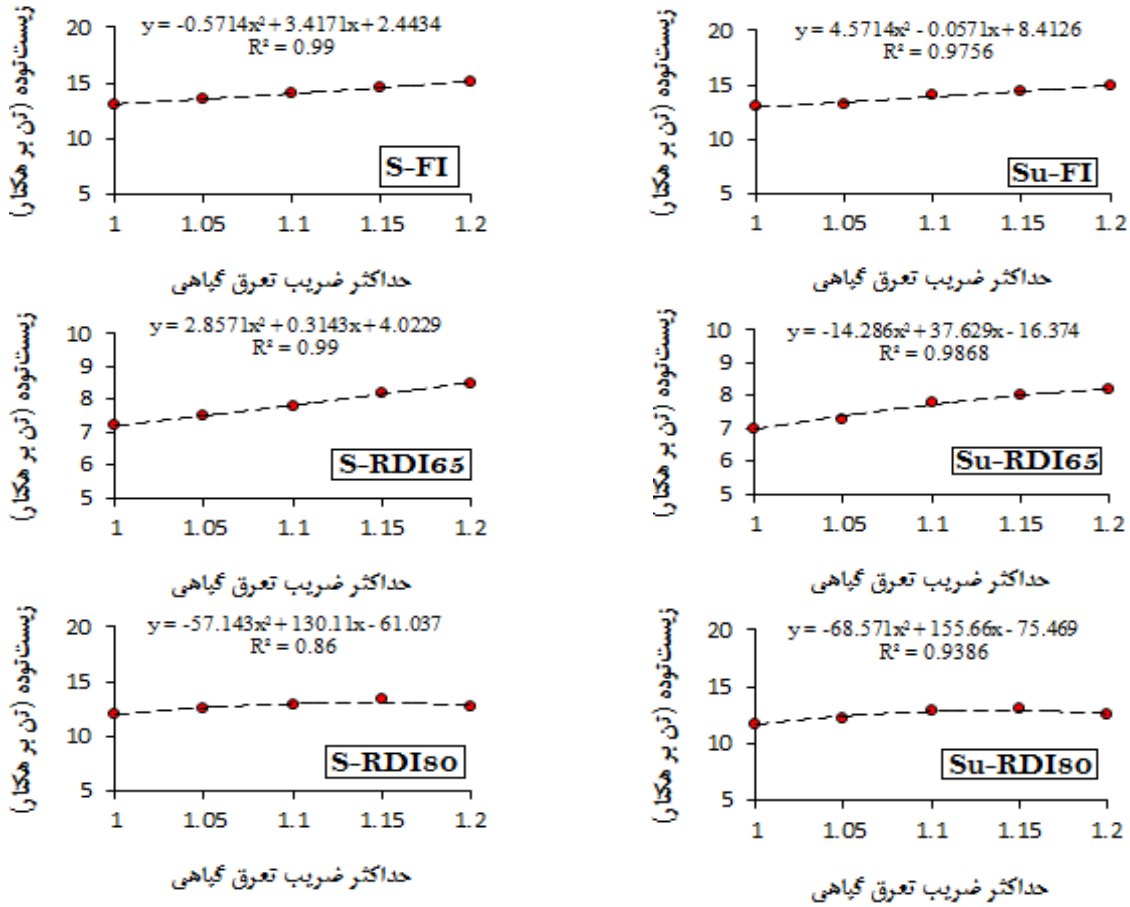
روند تغییرات زیست‌توده سیب‌زمینی در مقابل مقادیر مختلف بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*) برای دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شکل (۲) نشان داده شده است. مقایسه شیب خط در تیمارهای مشابه در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی نشان داد که روند تغییرات زیست‌توده برای هر دو روش آبیاری تقریباً یکسان بود. در نتیجه تغییرات زیست‌توده به نوع روش آبیاری وابسته نبود. بررسی شیب‌خط برای تیمارهای مختلف مدیریت آب آبیاری نشان داد که با افزایش تنش آبی، روند صعودی زیست‌توده نیز با آهنگ کمتری افزایش یافت به‌طوری‌که اختلاف بین مقادیر حداقل و حداکثر زیست‌توده در تیمار FI، RDI80 و RDI65 به ترتیب ۲۶، ۲۳ و ۲۳ درصد بود. در حالت کلی، با افزایش بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*)، زیست‌توده سیب‌زمینی نیز به‌صورت خطی افزایش یافت. بنابراین در روند واسنجی مدل AquaCrop، کاهش مقدار بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*) سبب کاهش خروجی مدل می‌گردد. در نتیجه زمانی که مقدار زیست‌توده شبیه‌سازی شده از زیست‌توده واقعی بیشتر است، می‌بایست مقدار این پارامتر کاهش یابد. بر این اساس در شرایط کمتر بودن زیست‌توده شبیه‌سازی شده نسبت به زیست‌توده واقعی، لازم است برای واسنجی مدل AquaCrop، مقدار بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*) افزایش یابد.



شکل ۲- تغییرات زیست‌توده گیاه نسبت به بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*) در آبیاری قطره‌ای سطحی (S) و زیرسطحی (Su) (FI: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، RDI80: تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی و RDI65: تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی)

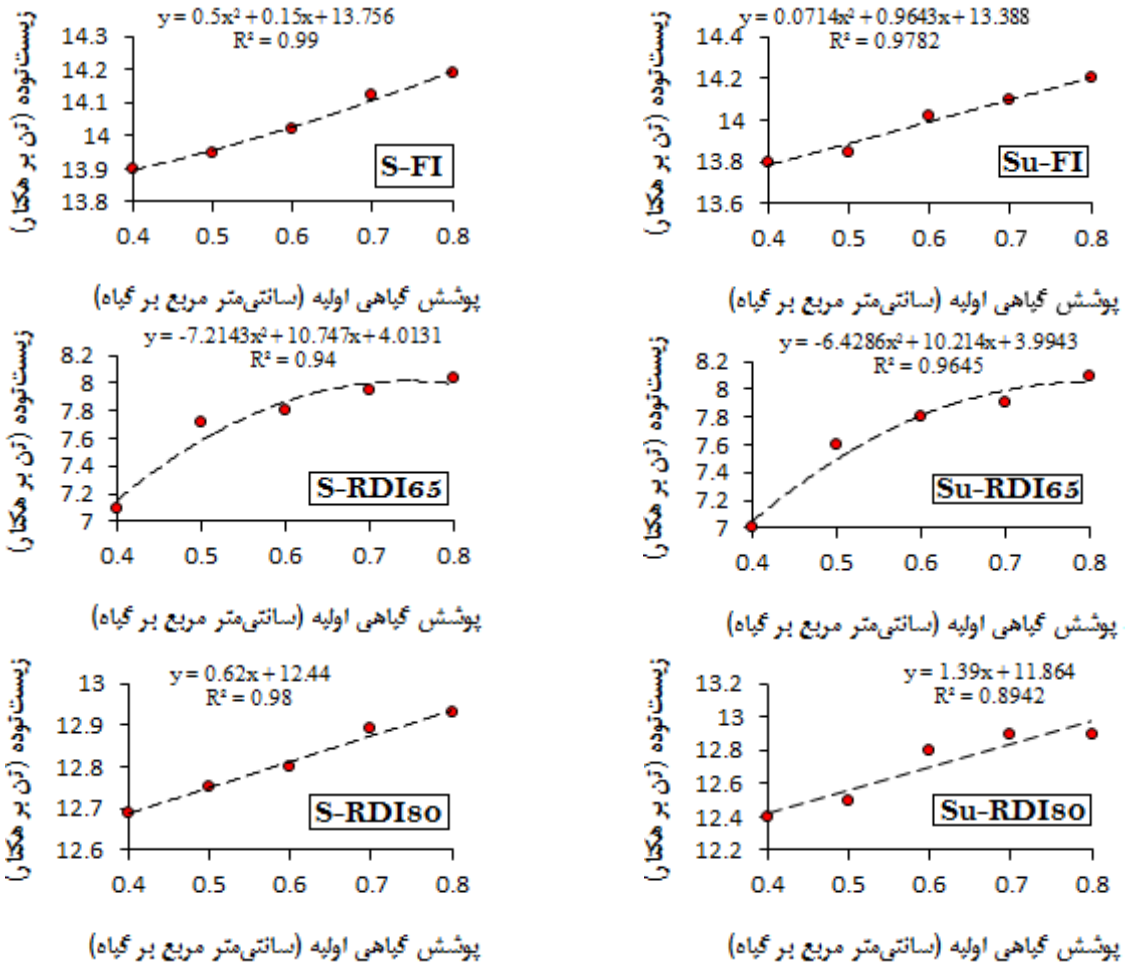
روند افزایشی برای تغییرات زیست‌توده در مقابل مقادیر مختلف حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (K_{CTrx}) در هر دو روش آبیاری

قطره‌ای سطحی و زیرسطحی مشاهده شد (شکل ۳). معادله برازش داده شده نشان می‌دهد که این افزایش همیشگی نیست و اگر حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (K_{CTrx}) از حدی بیشتر شود، زیست‌توده کاهش می‌یابد. رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۹۹)، بهمنش و همکاران (۱۴۰۰) و احمدی و همکاران (۱۴۰۰) ایجاد تنش آبی در روند شبیه-سازی را دلیل وقوع این نتیجه گزارش نموده‌اند. زیرا بیشتر بودن حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (K_{CTrx}) نسبت به مقدار آب در نظر گرفته شده برای گیاه سبب ایجاد کمبود آب خواهد شد. بنابراین این روند سبب کاهش و یا حتی توقف رشد زیست‌توده می‌شود. مقایسه شیب خط برازش داده شده در شکل‌های (۲) و (۳) نشان می‌دهد که تأثیرپذیری مقدار زیست‌توده در مقابل تغییرات بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*) بیشتر از حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (K_{CTrx}) است. این نتایج در جدول (۵) نیز قابل مشاهده است. زیرا حساسیت بهره‌وری آب نرمال شده (WP^*) در دسته بسیار زیاد و حساسیت حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (K_{CTrx}) در دسته زیاد قرار داشت (جدول ۴). در هر دو شیوه آبیاری مورد بررسی در این پژوهش، در شرایط آبیاری کامل (FI)، روند کاهشی زیست‌توده در محدوده تغییرات حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (K_{CTrx}) نبود. ولی در هر دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شرایط تأمین ۸۵ درصد نیاز آبی (RDI85) روند کاهشی زیست‌توده در مقادیر بیشتر از ۱/۱۵ مشاهده شد. این نتایج برای شرایط تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی (RDI65) در دو شیوه آبیاری مورد بررسی در محدوده حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (K_{CTrx}) مورد مطالعه متفاوت بود. بنابراین در واسنجی مدل AquaCrop پیشنهاد می‌شود که اگر لازم است حداکثر ضریب گیاهی برای تعرق (K_{CTrx}) تغییر یابد، این رویه در شرایط آبیاری کامل انجام شود.



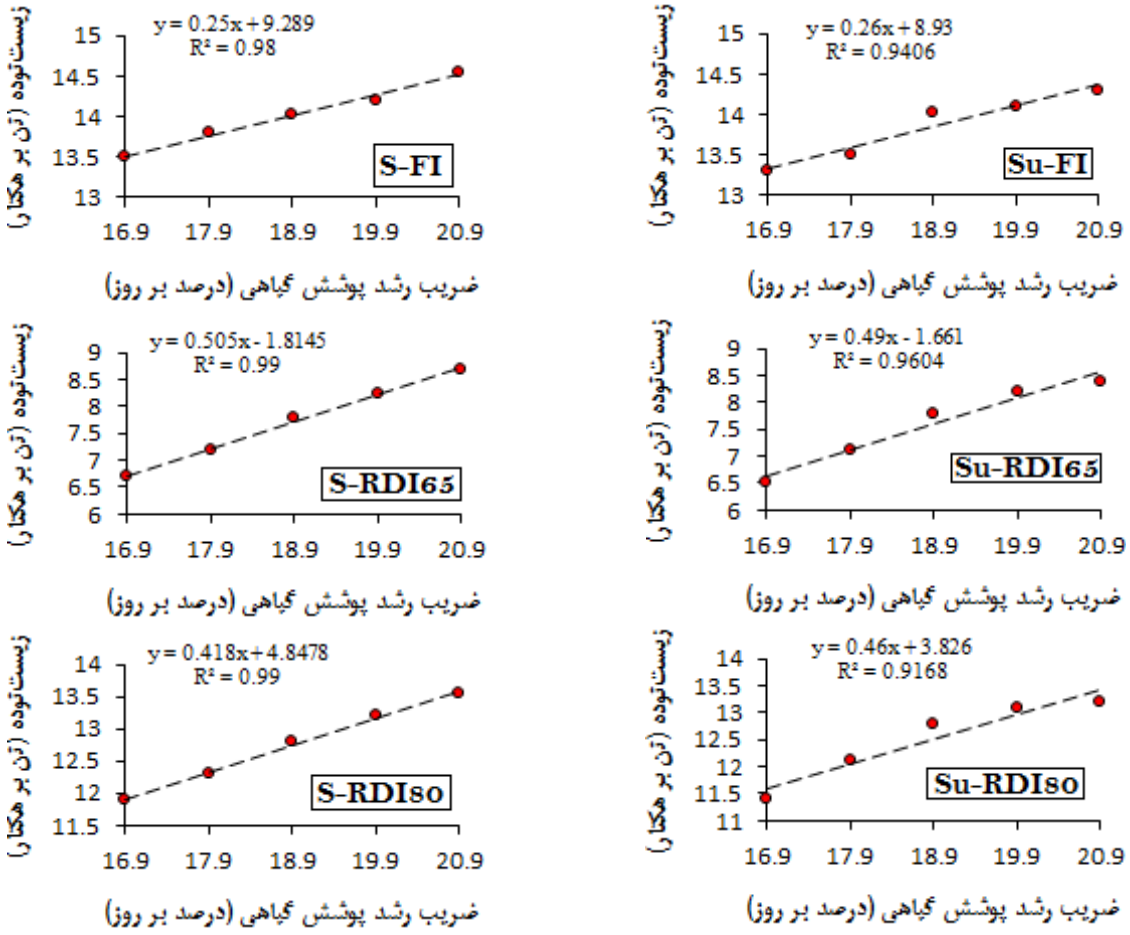
شکل ۳- تغییرات زیست‌توده گیاه نسبت به ضریب گیاهی (K_{CTrx}) در آبیاری قطره‌ای سطحی (S) و زیرسطحی (Su) (FI: ۱۰۰ تأمین درصد نیاز آبی، RDI80: تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی و RDI65: تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی)

مقادیر مختلف زیست‌توده در مقابل مقادیر مختلف پوشش گیاهی اولیه (CC_0) برای روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شکل (۴) نشان داده شده است. روند تغییرات نشان می‌دهد که در دو تیمار FI و RDI85 با افزایش پوشش گیاهی اولیه (CC_0)، مقادیر زیست‌توده نیز افزایش یافت. روند تغییرات برای تیمار RDI65 در محدوده‌ای افزایشی بود لیکن پس از مقدار ۰/۷ سانتی‌متر مربع بر گیاه روند کاهشی داشت. مقایسه شیب خط نمودارهای متناظر برای هر دو شیوه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی نشان داد که تغییرات زیست‌توده برای روش آبیاری قطره‌ای سطحی با سرعت بیشتری رخ داد. اختلاف زیست‌توده در مقادیر حداقل و حداکثر پوشش گیاهی اولیه (CC_0) در تیمارهای RDI65، RDI80 و FI برای آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب ۱۳، ۱/۸ و ۲ درصد بود. درحالی‌که این مقادیر برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۱۵، ۴ و ۲ درصد به دست آمد. بر اساس جدول (۵)، حساسیت این پارامتر در شرایط وقوع تنش بیشتر می‌شود به‌طوری‌که حساسیت این پارامتر در تیمار RDI65 در دسته متوسط قرار داشت درحالی‌که حساسیت آن در تیمارهای RDI80 و FI در دسته کم بود (جدول ۴). گرچه در حالت کلی اثرگذاری این پارامتر بر مقادیر زیست‌توده در دسته متوسط و کم قرار داشت، لیکن در صورت نیاز به واسنجی آن لازم است به نوع روش آبیاری و میزان تنش آبی توجه شود.



شکل ٤- تغییرات زیست‌توده سیب‌زمینی نسبت به پوشش گیاهی اولیه (CC_0) در آبیاری قطره‌ای سطحی (S) و زیرسطحی (Su) (FI: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، RDI80: تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی و RDI65: تأمین ٦٥ درصد نیاز آبی)

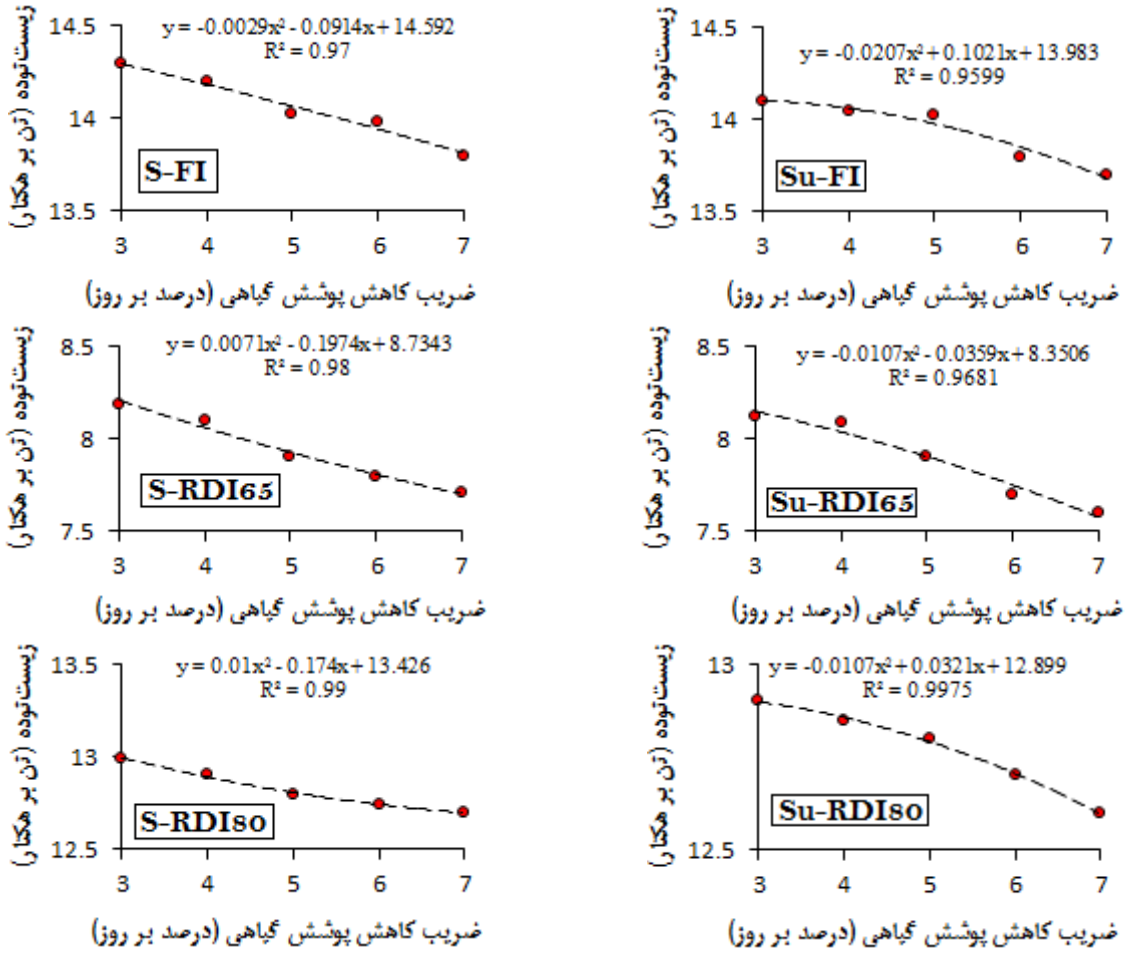
تغییرات زیست‌توده در مقابل پارامتر ضریب رشد گیاهی (CGC) برای روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در شکل (۵) نشان داده شده است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده با افزایش پارامتر ضریب رشد گیاهی (CGC) مقدار زیست‌توده نیز با آهنگ یکنواختی افزایش یافت. مقایسه دو روش آبیاری مورداستفاده نشان داد که زیست‌توده در شرایط آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با سرعت بیشتری تغییر یافت. گرچه اختلاف مقادیر مشاهده شده در این پژوهش قابل صرف‌نظر است. اختلاف بین مقادیر حداقل و حداکثر این پارامتر در روش آبیاری قطره‌ای سطحی برای تیمارهای RDI65، RDI80 و FI به ترتیب ۲۹، ۱۳ و ۷ درصد و برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۲۹، ۱۵ و ۷ درصد بود. بنابراین با افزایش تنش آبی میزان حساسیت زیست‌توده به تغییرات پارامتر ضریب رشد گیاهی (CGC) نیز افزایش یافت. گرچه این نتایج بر اساس شیب‌خط در شکل (۵) نیز قابل‌مشاهده است. بر اساس این نتایج، در مرحله واسنجی مدل AquaCrop، اگر مقدار زیست‌توده شبیه‌سازی شده کمتر از زیست‌توده واقعی بود، لازم است مقدار پارامتر ضریب رشد گیاهی (CGC) افزایش یابد. لیکن برای میزان افزایش آن باید به میزان تنش آبی توجه کرد. در شرایطی که زیست‌توده شبیه‌سازی شده بیشتر از زیست‌توده واقعی بود، لازم است مقدار پارامتر ضریب رشد گیاهی (CGC) کاهش یابد.



شکل ۵- تغییرات زیست‌توده سیب‌زمینی نسبت به ضریب رشد گیاهی (CGC) در آبیاری قطره‌ای سطحی (S) و زیرسطحی (Su) (FI: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، RDI80: تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی و RDI65: تأمین ۶۵ درصد نیاز آبی)

روند معکوسی بین تغییرات زیست‌توده و ضریب کاهش پوشش گیاهی مشاهده شد (شکل ۶). با افزایش مقدار ضریب زوال پوشش

گیاهی (CDC)، زیست‌توده نیز روند کاهشی داشت. این نتایج بر اساس مقادیر منفی به دست آمده در جدول (۵) نیز قابل استناد است. رحیمی‌خوب و همکاران (۱۳۹۹)، بهمنش و همکاران (۱۴۰۰) و احمدی و همکاران (۱۴۰۰) نیز نتایج مشابهی را گزارش نموده‌اند. همچنین، روند تغییرات زیست‌توده نسبت به ضریب زوال پوشش گیاهی (CDC) خطی نبود. اختلاف بین مقادیر حداقل و حداکثر این پارامتر در روش آبیاری قطره‌ای سطحی برای تیمارهای RDI65، RDI80 و FI به ترتیب ۵/۸، ۲/۲ و ۳/۴ درصد و برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۶/۴، ۲/۳ و ۲/۸ درصد بود؛ بنابراین حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییرات این پارامتر در تنش شدید بیشتر بود. بر اساس جدول (۵)، مقدار حساسیت در دو تیمار RDI80 و FI در دسته کم و در تیمار RDI65 در دسته متوسط قرار داشت.



شکل ٦- تغییرات زیست‌توده سیب‌زمینی نسبت به ضریب زوال پوشش گیاهی (CDC) در آبیاری قطره‌ای سطحی (S) و زیرسطحی (Su) (FI: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، RDI80: تأمین ۸۰ درصد نیاز آبی و RDI65: تأمین ٦٥ درصد نیاز آبی)

نتیجه‌گیری

مقایسه مقادیر ضریب حساسیت در تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که مقدار آب آبیاری بر میزان حساسیت مدل AquaCrop اثر داشت. همچنین تغییرات پارامتر *WP بیشترین اثر را بر نتایج شبیه‌سازی زیست‌توده توسط مدل AquaCrop داشته و پس‌ازآن، تغییرات دو پارامتر CGC و K_{CTrx} حساسیت بیشتری بر نتایج نشان داد. کمترین ضریب حساسیت نیز به دو پارامتر CC_0 و CDC

اختصاص یافت؛ بنابراین، در شرایطی که مدل AquaCrop تحت مقادیر مختلف آبیاری در مزرعه لازم است مورد استفاده قرار گیرد، پیشنهاد می‌شود ابتدا مقدار پارامتر WP* و سپس دو پارامتر CGC و K_{CTrx} به‌درستی تعیین شوند. این کار به کاربران و پژوهشگران کمک می‌کند تا به‌سرعت نتایج شبیه‌سازی را به مقادیر واقعی نزدیک نمایند. پس‌ازآن، اگر نتایج شبیه‌سازی مدل AquaCrop به مقادیر مشاهداتی نزدیک است ولی خطا غیرقابل چشم‌پوشی است، بهتر است دو پارامتر CC_0 و CDC مورد واسنجی قرار گیرند. با توجه به نتایج این تحقیق، پیشنهاد می‌شود که شرایط حاضر برای سایر گیاهان زراعی تحت مقادیر مختلف تنش آبی بررسی شود تا پژوهشگران بتوانند به‌دست‌آمده جامع و قدرتمندی برای واسنجی سریع مدل AquaCrop دست یابند.

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. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳ (۳): ۷۲۶-۷۱۵.

احمدی، م.، قنبرپوری، م. ع. و اگدرنژاد، ا. ۱۴۰۰. مقدار آب کاربردی گندم با استفاده از تحلیل حساسیت و ارزیابی مدل AquaCrop. مجله مدیریت آب در کشاورزی. ۸ (۱): ۳۰-۱۵.

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.

انصاری، م. ع.، اگدرنژاد، ا. و ابراهیمی پاک، ن. ع. ۱۳۹۸. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی تحت مقادیر مختلف تنش آبی در دوره‌های متفاوت رشد. مجله علوم آب و خاک. ۲۳ (۴): ۳۸۳-۳۹۴.

انصاری، م. ع.، اگدرنژاد، ا. و ابراهیمی پاک، ن. ع. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل‌های AquaCrop و WOFOST در شبیه‌سازی عملکرد سیب‌زمینی تحت شرایط مختلف تنش آبی. مدیریت آب در کشاورزی. ۷ (۲): ۱-۱۴.

بهمنش، ع.، اگدرنژاد، ا. و سپهری صادقیان، س. ۱۴۰۰. تحلیل حساسیت پارامترهای رشدی گلرنگ در مدل AquaCrop با مدیریت‌های مختلف آبیاری. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵ (۳): ۶۲۳-۶۱۱.

حقیقتی بروجنی، ب.، برومند نسب، س. و ناصری، ع. ع. ۱۳۹۴. تأثیر مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری در روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای نواری بر عملکرد سیب‌زمینی و بهره‌وری آب. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۹ (۲): ۱۹۳-۱۸۱.

خیری شلمزاری، ک.، برومندنسب، س.، سلطانی محمدی، ا. و حقیقتی بروجنی، ب. ۱۳۹۹. اثر مدیریت‌های آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی بر عملکرد و بهره‌وری آب سیب‌زمینی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴ (۱): ۳۲۰-۳۱۰.

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.

نیسی، ح.، اگدرنژاد، ا. و سپهری صادقیان، س. ۱۴۰۰. ارزیابی مدل‌های AquaCrop و DSSAT در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب گیاه سیب‌زمینی تحت شرایط مختلف تنش آبی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۵ (۵): ۱۱۹۸-۱۲۱۱.

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

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2018. FAOSTAT statistical database. FAO, Rome. Available from internet: http://www.fao.org.

Guo, D., Zhao, R., Xing, X. and Ma, X. 2020. Global sensitivity and uncertainty analysis of the AquaCrop model for maize under different irrigation and

fertilizer management conditions. Archives of Agronomy and Soil Science. 66(8): 1115-1133.

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.

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.

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

Razzaghi, F., Zhou, Z., Andersen, M. N. and Plauborg, F. 2017. Simulation of potato yield in temperate condition by the AquaCrop model. Agricultural Water Management. 191: 113–123.

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

Tourneux, C., Devaux, A., M. Camacho, M. R., Mamani, P. and Ledent, J. F. 2003. Effects of water shortage on six potato genotypes in the highlands of Bolivia (I): Morphological Parameters, Growth and Yield. Agronomy. 23(2): 169-179.

Water Management in Agriculture
Vol. 9, No. 2, Autumn and Winter 2023, 45-58

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۹، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۴۰۱، ص. ۵۸-۴۵

Sensitivity Analysis of Potato Growth Parameters using AquaCrop Model Under Different Irrigation Managements (Case Study: Shahrekord)

N. Boozar[1], A. Egdernezhad[2*] and S. Boroomand Nasab[3]

Abstract

Sensitivity analysis is one of the steps in preparing a crop model before calibration, which helps researchers to find more information about the effects of each parameter on the results to increase the accuracy of the model in the calibration stage. Because of the capabilities of AquaCrop, researchers use it to simulate crop growth in different irrigation managements. The present study was conducted to analyze the sensitivity of AquaCrop in simulation of potato biomass to changes in crop growth parameters includes normalized water productivity (WP^*), maximum transpiration coefficient (K_{CTrx}), initial canopy cover (CC_0), canopy growth coefficient. (CGC) and canopy reduction coefficient (CDC) using Baven (1979) method. Data were collected from a research farm in the Chahartakhteh area of Shahrekord, Iran, during two years. These data included the effect of two factor includes: irrigation method (surface and subsurface drip irrigation) and different irrigation levels (FI: 100% water supply, RDI80: 80% water supply and RDI65: 65% water supply). The results showed that the model AquaCrop had the highest sensitivity to WP^* and the lowest sensitivity to CCo and CDC. The trend of potato biomass changes was inverse for CDC and direct to other parameters. Increased water stress in WP^* and K_{CTrx} parameters decreased the sensitivity of AquaCrop model. Therefore, in order to calibrate the AquaCrop in the conditions of a large difference between the simulated and observed values, it is better to change WP^*. Otherwise, it is suggested to change the other parameters.

Key words: Beven method, Crop Modeling, Normalized Water Productivity, Subsurface Drip Irrigation, Surface Drip Irrigation

[1] M.S. Student, 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 (*Corresponding author: Email: a_eigder@ymail.com)
[3] Professor of Irrigation and Drainage, Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran
Received: 15 May 2022
Accepted: 18 Aug 2022