نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، پاییز و زمستان، ۱۴۰۰، ص. ۷۸-۶۷

Water Management in Agriculture
Vol. 8, No. 2, Autumn and Winter, 2022, 67-78

مقاله پژوهشی

برنامه‌ریزی آبیاری گیاه گلرنگ تحت مدیریت‌های مختلف آبیاری با استفاده از مدل AquaCrop

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

چکیده

گلرنگ یکی از گیاهان روغنی مهم به شمار می‌رود که تحت تنش آبی عملکرد آن کاهش می‌یابد. به همین دلیل تعیین واکنش آن نسبت به مدیریت‌های مختلف آب آبیاری بسیار حائز اهمیت است. در این پژوهش از مدل AquaCrop جهت شبیه‌سازی سه استراتژی برنامه‌ریزی آبیاری گیاه گلرنگ برای روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای استفاده شد. پیش از آن، مدل AquaCrop با استفاده از داده‌های برداشت‌شده از یک مزرعه تحقیقاتی در شهرستان کرمانشاه واقع در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی طی دو سال زراعی واسنجی شد. در استراتژی نخست اعمال آبیاری تا حد ظرفیت زراعی در دور ثابت (۱، ۵، ۱۰ و ۲۰ روز)، در استراتژی دوم اعمال مقدار ثابت آب آبیاری (مقادیر ۱۰ تا ۵۰ میلی‌متر برای روش‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی و مقادیر ۱۰ تا ۹۰ میلی‌متر برای روش جویچه‌ای) در دور ثابت (۲ و ۴ روز برای آبیاری قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی و ۱۰ و ۲۰ روز برای جویچه‌ای) و در استراتژی سوم تأمین نیاز آبی گیاه در سطوح ۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد در طول فصل زراعی برای هر سه روش آبیاری در نظر گرفته شد. نتایج این پژوهش نشان داد که بیشترین عملکرد زیست‌توده و بهره‌وری آب در استراتژی‌های اول و دوم به دست آمد. مقادیر حداکثر برای عملکرد و زیست‌توده به ترتیب برابر با ۳/۷، ۱۲/۲ تن در هکتار و بیشترین مقدار بهره‌وری آب برابر با ۰/۵۴ کیلوگرم بر مترمکعب در روش‌های قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی و ۰/۶۹ کیلوگرم بر مترمکعب در آبیاری جویچه‌ای بود. با توجه به اینکه اعمال استراتژی دوم برای کشاورزان آسان‌تر است، پیشنهاد می‌شود از این روش برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه استفاده شود؛ بنابراین برای آبیاری قطره‌ای سطحی و قطره‌ای زیرسطحی ۱۰ میلی‌متر آب آبیاری با دور دو روز و برای آبیاری جویچه‌ای ۳۰ میلی‌متر آبیاری با دور ۱۰ روز پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: آبیاری جویچه‌ای، آبیاری قطره‌ای، تنش آبی، مدل‌سازی گیاهی، نیاز آبی

مقدمه

گلرنگ (Cartahamus tinctorius L.) یکی از دانه‌های روغنی است که سهم بالایی در تولید روغن‌های نباتی در جهان دارد. این گیاه زراعی دارای حدود ۴۰-۳۵ درصد روغن و ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع است (Asqarpanh and Kazemivash, 2013 ؛ دانشور و خواجوئی‌نژاد، ۱۳۹۳؛ محتشمی و همکاران، ۱۳۹۷). ازاین‌رو، گلرنگ به‌عنوان یک منبع مهم تولید روغن خوراکی در بسیاری از کشورها مورداستفاده قرار می‌گیرد (Asqarpanh and Kazemivash, 2013). در کشور ما، سهم گلرنگ در تولید روغن‌های خوراکی بسیار پایین است و بیشتر روغن‌های مصرفی از طریق واردات تأمین می‌شود؛ بنابراین لازم است تولید گلرنگ چه از طریق افزایش سطح زیر کشت و چه از طریق افزایش تولید در واحد سطح توسعه یابد (محتشمی و همکاران، ۱۳۹۷). توسعه تولید گلرنگ مستلزم وجود آب کافی برای کشت آن است. علی‌رغم اینکه گلرنگ گیاهی مقاوم به خشکی است لیکن عملکرد آن تحت تنش‌های آبی به‌شدت بی‌ثبات است (طاهری و همکاران، ۱۳۹۷). کم‌آبیاری

[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] استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۴/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۶/۱۶
DOR: 20.1001.1.24764531.1400.8.2.6.2

سبب تغییرات شدید در عملکرد گلرنگ شده و باعث کاهش رشد آن می‌گردد (محتشمی و همکاران، ۱۳۹۷). به همین دلیل لازم است شناخت کافی از رژیم آبیاری گلرنگ و اثر مقدار و روش آبیاری بر عملکرد و اجزای عملکرد آن داشت. از طرفی، اجرای سناریوهای مختلف برای تعیین رژیم مناسب آبیاری گلرنگ در مزرعه، نیازمند صرف وقت و هزینه بسیار است که در شرایط فعلی امکان اجرای آن‌ها وجود ندارد. برای رفع این مشکل محققان پیشنهاد کرده‌اند که از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی استفاده شود. این مدل‌ها قابلیت تعیین عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب گیاهان زراعی در شرایط مختلف تأمین آب را دارند (ابراهیمی پاک و همکاران، ۱۳۹۷).

مدل AquaCrop یکی از مدل‌های گیاهی است که توسط سازمان خواروبار کشاورزی (فائو) برای بررسی واکنش گیاهان زراعی به مقادیر مختلف آب آبیاری ارائه شده است. این مدل به دلیل سادگی، نیاز به داده‌های کمتر نسبت به سایر مدل‌های گیاهی و توانایی شبیه‌سازی دامنه وسیعی از گیاهان زراعی موردتوجه بسیاری از محققان قرارگرفته است. این مدل آب-محور است و قابلیت مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده گیاهان زراعی نسبت به مقادیر مختلف آب آبیاری دارد. علاوه بر این، قابلیت شبیه‌سازی سیستم‌های مختلف آبیاری در این مدل گیاهی در نظر گرفته‌شده است (Raes et al., 2012).

پیش از شبیه‌سازی با این مدل گیاهی لازم است دقت آن بررسی شود. ازاین‌رو محققان مختلفی به ارزیابی مدل AquaCrop تحت شرایط مختلف تأمین آب پرداخته‌اند. کریمی‌اورگانی و همکاران (۱۳۹۶) از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده جو در منطقه پاکدشت استفاده کردند. در این تحقیق، سه میزان تأمین آب (۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد) تحت آبیاری سطحی با استفاده از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی زیست‌توده جو استفاده شد. نتایج آن‌ها نشان داد که تطابق نتایج شبیه‌سازی‌شده با مقادیر مشاهداتی بسیار نزدیک (R2=۰/۹۶) بود. در تحقیقی دیگر، ابراهیمی پاک و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی واکنش زعفران نسبت به مقادیر مختلف آب آبیاری تحت آبیاری سطحی با استفاده از مدل AquaCrop پرداختند. این محققان با بررسی این مهم به این نتیجه رسیدند که مدل AquaCrop با خطای ۹ درصد قابلیت مطلوبی برای شبیه‌سازی عملکرد زعفران نسبت به مقدار آب آبیاری داشت. جوزی و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی سیب‌زمینی تحت شرایط کم‌آبیاری در سیستم آبیاری سطحی پرداختند. این محققان دقت مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد را برابر با ۱۰/۹۵ درصد گزارش کردند. عابدین‌پور به ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده سویا تحت آبیاری سطحی پرداخت. این محقق نشان داد که اگر مدل AquaCrop واسنجی شود، با حداکثر خطای ۰/۴۱ تن در هکتار می‌تواند عملکرد سویا را شبیه‌سازی کند (Abedinpour, 2020). منصور به ارزیابی این مدل گیاهی برای شبیه‌سازی آفتابگردان تحت شرایط مختلف تأمین آب در آبیاری سطحی پرداخت و دقت آن را مطلوب ارزیابی کرد. با تکیه بر قابلیت این مدل گیاهی، می‌توان به شبیه‌سازی سناریوهای آبیاری پرداخت (Mansour, 2021). اگدرنژاد و همکاران (۱۳۹۷) با استفاده از مدل AquaCrop به برنامه‌ریزی آبیاری کلزا تحت شرایط آبیاری سطحی در دشت قزوین پرداختند. این محققان با بررسی مقادیر آب آبیاری از نظر افزایش عملکرد و ارزش اقتصادی آن، عمق بهینه آب برای کشت کلزا در این دشت را بین ۵۳۰-۴۵۰ میلی‌متر تعیین کردند. در تحقیقی دیگر، خافاجه و همکاران پس از واسنجی مدل AquaCrop به تعیین مقدار مناسب آب آبیاری خیار در روش سطحی با استفاده از این مدل گیاهی پرداختند (Khafajeh et al., 2021). سایر محققان ازجمله منصور و امیری و همکاران نیز پس از واسنجی مدل AquaCrop به تعیین مناسب‌ترین برنامه آبیاری برای گیاهان آفتابگردان و گندم پرداختند (Mansour, 2021; Amiri et al., 2021) . علی‌رغم توجه محققان به استفاده از مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی گیاهان زراعی، تاکنون مطالعات کافی در خصوص ارزیابی این مدل گیاهی برای تعیین عملکرد و زیست‌توده گلرنگ و شبیه‌سازی اثر سناریوهای مختلف آبیاری با استفاده از این مدل گیاهی انجام‌نشده است.

مطالعه انجام‌شده توسط موسوی زاده مجرد و همکاران ازجمله مطالعات محدود در این خصوص است. این محققان در این مطالعه از مدل AquaCrop تنها برای شبیه‌سازی گیاه گلرنگ تحت سناریوهای مختلف شوری آب آبیاری استفاده کردند (Mousavi Zadeh Mojarad et al., 2018) . بنابراین، با توجه به اینکه این مدل گیاهی قابلیت شبیه‌سازی انواع سیستم‌های آبیاری را دارد، لیکن توجه محققان عمدتاً به ارزیابی این مدل تحت سیستم آبیاری سطحی بوده است؛ بنابراین، این پژوهش با هدف تعیین مدیریت مناسب آب آبیاری در سه سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی، قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه

برای واسنجی مدل AquaCrop از داده‌های برداشت‌شده از مزرعه آزمایشی در شهرستان کرمانشاه واقع در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض ۳۴ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۱۹ متر از سطح دریا طی دو سال زراعی استفاده شد. پیش از کاشت، از خاک مزرعه نمونه‌برداری و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین شد (جدول ۱).

عملیات مزرعه‌ای

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. بر اساس آزمایش خاک (جدول ۱)، میزان ۱۲۰ کیلوگرم در هکتار فسفات آمونیوم، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره، ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار گوگرد برای دوره رشد گیاه در نظر گرفته شد. در این پژوهش از سه روش آبیاری استفاده شد. آبیاری قطره‌ای سطحی در سه سطح (T1، T2 و T3 به ترتیب نشان‌دهنده تأمین ۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد نیاز آبی)، آبیاری جویچه‌ای در سه سطح (T4: تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی، T5: اعمال ۵۰ میلی‌متر آب آبیاری در یک نوبت در دوره گلدهی و T6: شرایط دیم) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (T7) در نظر گرفته شدند. در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، نوارهای آبیاری قطره‌ای تیپ 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 پس‌ازآن آبیاری مطابق تیمارهای ذکرشده اعمال گردید. مشخصات آب آبیاری در جدول (۲) نشان داده‌شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

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

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آب

EC	TDS	pH	کربنات	بی‌کربنات	کلر	سولفات	مجموع آنیون‌ها	مجموع کلسیم و منیزیم	سدیم	مجموع کاتیون‌ها	سدیم محلول
میکرو موس بر سانتی‌متر	میلی‌گرم بر لیتر		(میلی‌اکی‌والانت بر لیتر)								درصد
۱۰۰۰	۶۴۰	۷/۱	۰	۶/۱۵	۱/۹	۱/۱۸	۹/۲۳	۸/۱۵	۱/۰۸	۹/۲۳	۱۱/۷

مدل AquaCrop

این مدل برای تعیین عملکرد محصول بر اساس تبخیر- تعرق از رابطه (۱) استفاده می‌کند.

$$B = WP^{*}\sum_{i=1}^{n}\frac{Tr_i}{ETo_i} \qquad (۱)$$

در این معادله، B عملکرد زیست‌توده تجمعی (گرم بر

مترمربع)، *WP بهره‌وری آب نرمال شده (گرم بر مترمربع)، Tri تعرق روزانه گیاه (میلی‌متر در روز) و ETOi تبخیر–تعرق مرجع (میلی‌متر در روز)، n تعداد روزهای پس از کشت و i شماره روز است. میزان تعرق روزانه با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$T_{ri} = K_s \times CC \times K_{CTrx} \times ET_{0i} \quad (۲)$$

در این رابطه، Ks ضریب تنش آبی (–)، KCTrx 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 ۳ تا ۵).

$$CC = CC_0 \times e^{tCGC} \quad (۳)$$

$$CC = CC_x - 0.25\frac{CC_x^{\,2}}{CC_0} \times e^{-tCGC} \quad (۴)$$

$$CC = CC_x \left[1 - 0.05\left(e^{\frac{CDC}{CCx} \times t} - 1\right)\right] \quad (۵)$$

در این روابط، CC0 پوشش گیاهی اولیه (سانتی‌مترمربع برای هر گیاه)، CGC ضریب رشد پوشش گیاهی (درصد روز)، CDC ضریب کاهش پوشش گیاهی (درصد روز) و t زمان است. از رابطه‌های (۳) تا (۵) 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. برخی پارامترهای مهم مورد استفاده در مدل AquaCrop برای گیاه گلرنگ مورد بررسی در این پژوهش در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳- برخی پارامترهای واسنجی شده، اندازه‌گیری‌شده و پیش‌فرض مدل AquaCrop

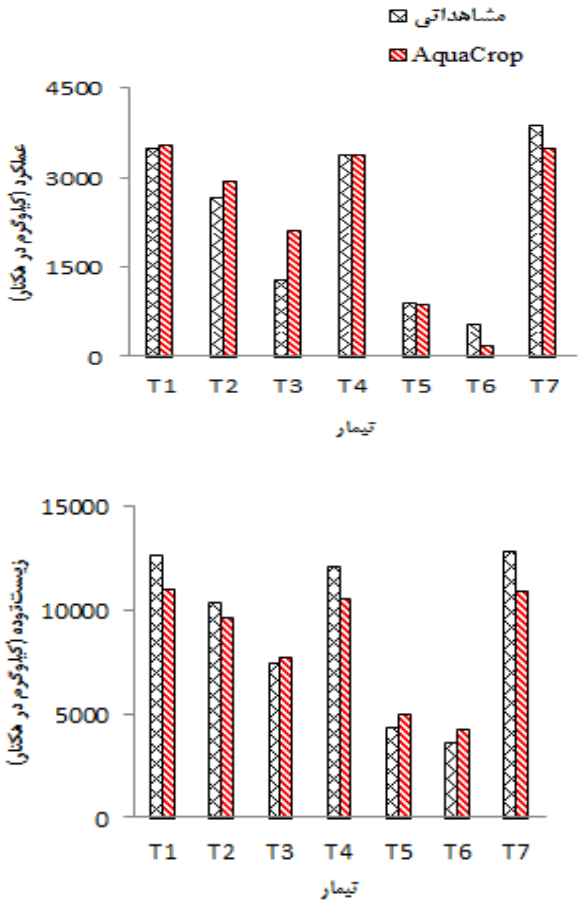
پارامتر	واحد	مقدار اولیه	مقدار نهایی	توضیحات
پوشش گیاهی اولیه	درصد	۱/۵	۰/۲۹	واسنجی شده
ضریب رشد پوشش گیاهی	درصد بر روز	۸/۷	۲۲	واسنجی شده
تراکم کاشت	گیاه در هکتار	۶۵۰۰۰۰	۶۵۰۰۰۰	اندازه‌گیری شده
نرخ رشد پوشش گیاهی	درصد بر روز	۸/۷	۲۲	واسنجی شده
حداکثر پوشش گیاهی	درصد	۸۵	۹۸	واسنجی شده
ضریب کاهش پوشش	درصد بر روز	۸	۱۳/۶	واسنجی شده
زمان از کاشت تا جوانه‌زنی	روز	۴	۱۸	واسنجی شده
زمان از کاشت تا حداکثر پوشش	روز	۸۵	۵۶	واسنجی شده
زمان از کاشت تا پیری	روز	۱۲۰	۱۰۵	واسنجی شده
زمان از کاشت تا بلوغ	روز	۱۳۵	۱۲۷	واسنجی شده
زمان از کاشت تا گلدهی	روز	۹۰	۷۸	واسنجی شده
طول دوره گلدهی	روز	۳۰	۱۶	واسنجی شده
حداکثر عمق ریشه	متر	۱	۲	واسنجی شده
زمان برای رسیدن به حداکثر عمق ریشه	روز	۷۰	۱۰۰	واسنجی شده
ضریب گیاهی	–	۱/۱	۱/۱	اندازه‌گیری شده
بهره‌وری آب نرمال شده	گرم بر مترمربع	۱۸	۱۷	واسنجی شده
شاخص برداشت	–	۳۰	۳۱	واسنجی شده
دمای پایه	درجه سانتی‌گراد	۵	۵	پیش‌فرض
دمای بالا	درجه سانتی‌گراد	۳۰	۳۱	پیش‌فرض
حد بالای مربوط به توسعه پوشش گیاهی	–	۰/۲۵	۰	واسنجی شده
حد پایین مربوط به توسعه پوشش گیاهی	–	۰/۵۵	۰/۳۵	واسنجی شده
ضریب شکل برای توسعه پوشش گیاهی	–	۳/۰	۲/۵	واسنجی شده
حد بالای مربوط به بسته شدن روزنه‌ها	–	۰/۵	۰/۲۵	واسنجی شده
ضریب شکل منحنی مربوط به بسته شدن روزنه‌ها	–	۳	۲/۵	واسنجی شده
حد بالای زوال پوشش گیاهی	–	۰/۸۵	۰/۵۵	واسنجی شده
ضریب شکل منحنی مربوط به زوال پوشش گیاهی	–	۳/۰	۲/۵	واسنجی شده

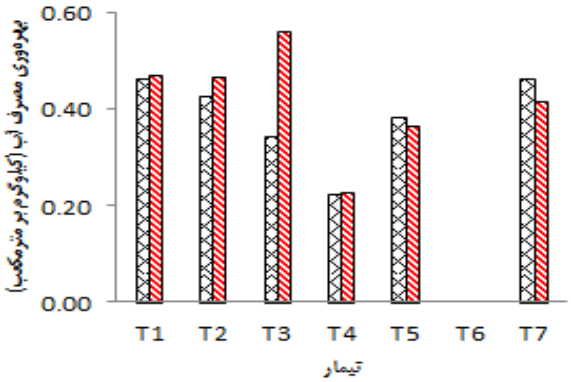
نتایج و بحث

واسنجی مدل AquaCrop

پیش از انجام برنامه‌ریزی آبیاری، نتایج به‌دست‌آمده از مدل واسنجی شده AquaCrop با مقادیر مشاهداتی مقایسه شد. این نتایج برای عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب در شکل (۱) مشاهده می‌شود. با توجه به این نتایج، مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی نزدیک به هم بود. در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری آب، میزان خطا برای اکثر تیمارها کمتر از ۸ درصد و نتایج متناظر برای زیست‌توده ۹ درصد بود.

به‌طور متوسط، مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده دچار خطای کم برآوردی و در شبیه‌سازی بهره‌وری آب دچار خطای بیش برآوردی شد. این نتایج با مشاهدات ابراهیمی پاک و همکاران (۱۳۹۸)، اگدرنژاد و همکاران (۱۳۹۷) و کریمی و همکاران (۱۴۰۰) روی گیاهان زراعی کلزا و جو مطابقت داشت.



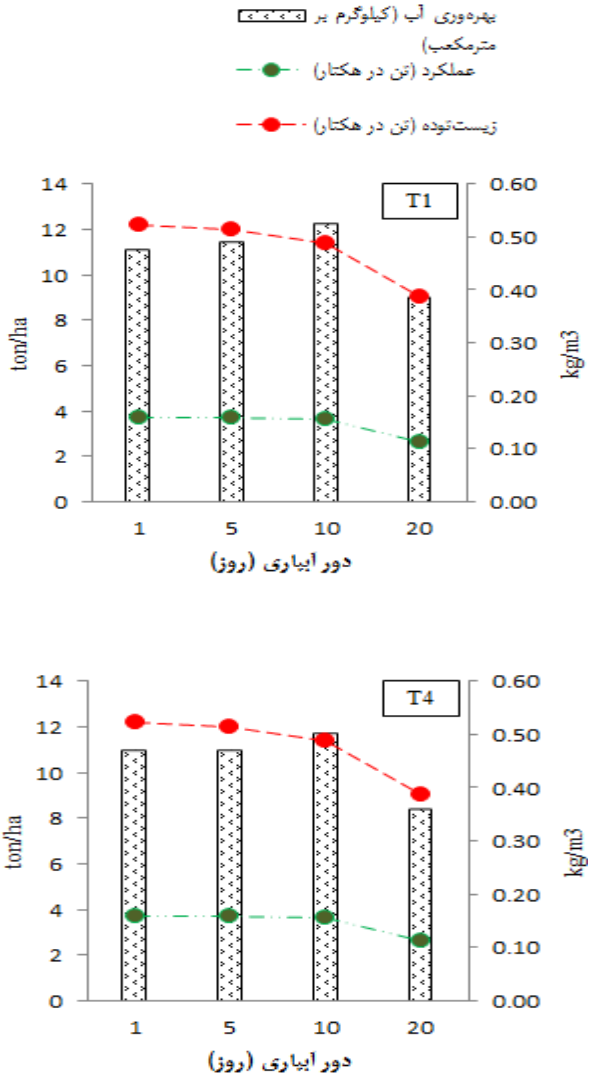


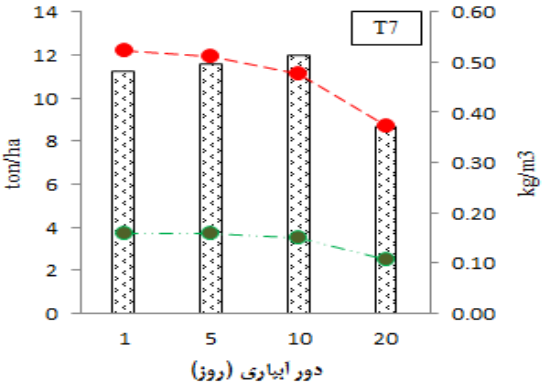
شکل ۱- مقایسه عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده گلرنگ در مرحله واسنجی

نتایج استراتژی نخست آبیاری

در شکل (۲) عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب برای تیمارهای آبیاری قطره‌ای سطحی (T1)، آبیاری جویچه‌ای (T4) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (T7) نشان داده‌شده است. در این شکل، مقادیر هرکدام از پارامترهای ذکرشده برای چهار دور مختلف آبیاری تعیین‌شده است. در همه تیمارها با افزایش دور آبیاری مقدار عملکرد و زیست‌توده روند کاهشی داشت. همچنین، تغییر دور آبیاری از یک‌به‌پنج روز، اثر چندانی بر عملکرد نداشت. در تیمار T1، با افزایش دور آبیاری به ۱۰ و ۲۰ روز، عملکرد گلرنگ به ترتیب ۲/۷ و ۲۸/۸ درصد کاهش یافت. مقدار کاهش عملکرد در دور آبیاری ۱۰ روز برای تیمارهای T4 و T7 به ترتیب برابر با ۲/۷ و ۵/۴ درصد بود. مقادیر متناظر برای این تیمارها در دور آبیاری ۲۰ روز به ترتیب برابر با ۲۷ و ۲۸ درصد بود. در تیمار T1، با افزایش دور آبیاری از یک به ۲۰ روز، مقدار زیست‌توده ۲۶ درصد کاهش داشت. افزایش دور آبیاری سبب کاهش طول دوره پر شدن، کوچک شدن، کاش وزن دانه و قطر طبق گلرنگ می‌شود؛ بنابراین عملکرد کاهش می‌یابد (قربی و همکاران، ۱۳۹۶). کاهش زیست‌توده برای دور آبیاری ۵ و ۱۰ روز در این تیمار به ترتیب برابر با ۱/۵ و ۶/۵ درصد بود. در تیمار T7، کاهش زیست‌توده در دورهای ۵، ۱۰ و ۲۰ روز به ترتیب برابر با ۲/۵، ۹ و ۲۸/۵ درصد بود. مقایسه این نتایج نشان داد که افزایش دور آبیاری در تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی نسبت به

آبیاری قطره‌ای زیرسطحی اثر کمتری بر زیست‌توده داشت. تغییرات بهره‌وری آب برای همه تیمار تا دور آبیاری ۱۰ روز روند افزایشی داشت. پس‌ازآن، بهره‌وری آب کاهش یافت. بهره‌وری آب در تیمار T1 نسبت به سایر تیمارها بیشتر بود. میزان بهره‌وری آب در تیمارهای موردنظر در شرایط مزرعه (شکل ۱) کمتر از مقادیر به‌دست‌آمده در استراتژی نخست آبیاری بود (شکل ۲). عملکرد و زیست‌توده به‌دست‌آمده در استراتژی نخست آبیاری برای همه تیمارها بیشتر از مقدار مشاهداتی در مزرعه (شکل ۱) محاسبه شد؛ بنابراین می‌توان استراتژی آبیاری بر اساس دورهای ۵ و ۱۰ روز را بهتر از شرایط فعلی در مزرعه آزمایشی معرفی کرد.



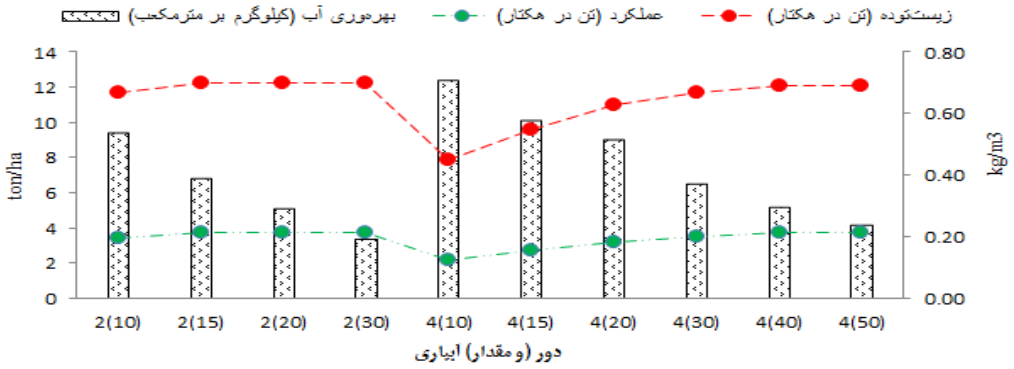


شکل ۲- مقایسه عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب شبیه‌سازی‌شده گلرنگ در دورهای مختلف آبیاری

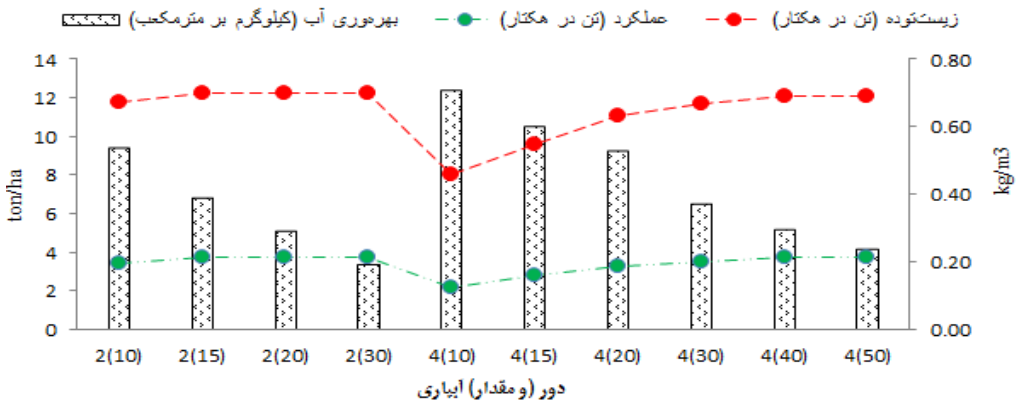
نتایج استراتژی دوم آبیاری

در شکل (۳) سناریوهای آبیاری بر اساس دور و مقدار آب آبیاری برای تیمار T1 نشان داده‌شده است. در دور آبیاری ۲ و ۴ روز، با افزایش مقدار آب آبیاری، عملکرد و زیست‌توده افزایش یافت درحالی‌که بهره‌وری آب روند کاهشی داشت. در دور آبیاری ۲ روز، عملکرد گلرنگ در عمق آبیاری ۱۰ میلی‌متر برابر با ۳/۴ تن در هکتار بود. این مقدار مشابه عملکرد در شرایط مزرعه‌ای (شکل ۱) بود. با افزایش عمق آبیاری به ۱۵، ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر، عملکرد گلرنگ افزایش ۸/۸ درصدی داشت. با توجه به اینکه عملکرد گلرنگ برای عمق‌های آبیاری اشاره‌شده یکسان بود؛ بهره‌وری آب در این تیمارها به‌صورت پلکانی کاهش یافت؛ زیرا مقدار آب آبیاری در طول فصل رشد برای عمق‌های ۱۵، ۲۰ و ۳۰ میلی‌متر به ترتیب برابر با ۹۴۵، ۱۲۶۰ و ۱۸۹۰ میلی‌متر بود. افزایش عملکرد گلرنگ در سناریوی (۱۵)۲ نسبت به (۱۰)۲ برابر با ۴/۲ درصد بود. در سایر سناریوها مقدار زیست‌توده مشابه (۱۵)۲ بود؛ بنابراین افزایش عمق آبیاری تا عمق ۱۵ میلی‌متر باعث افزایش عملکرد و زیست‌توده شد و پس‌ازآن تغییری در این پارامترها مشاهده نشد. با توجه به اینکه تغییرات عملکرد و زیست‌توده اندک بود، بنابراین سناریوی (۱۰)۲ به دلیل بهره‌وری آب بیشتر توصیه می‌شود. البته اگر به دلیل کمبود آب این سناریو برای اجرا در مزرعه انتخاب شد، باید با روش‌های مختلف ازجمله سیستم‌های تغذیه‌ای افت عملکرد ناشی از کمبود آب

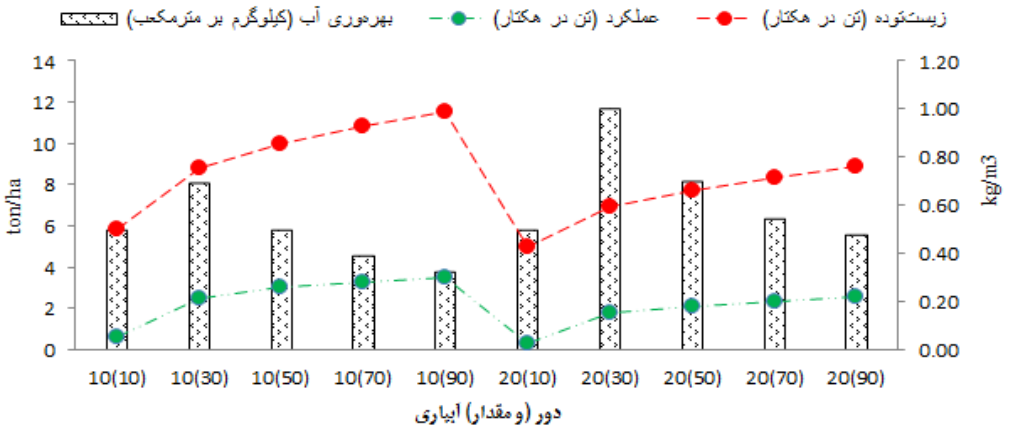
قابل‌دسترس را جبران کرد (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۷). بدین ترتیب علاوه بر بهبود عملکرد و زیست‌توده، بهره‌وری آب نیز از شرایط فعلی بیشتر می‌شود. این روند برای دور آبیاری ۴ روز نیز مشاهده شد. در این دور آبیاری، مقادیر عملکرد و زیست‌توده تا عمق ۴۰ میلی‌متر روند افزایشی داشت. پس‌ازاین عمق، مقادیر این دو پارامتر ثابت ماند. به دلیل افزایش مقدار آب مصرفی، بهره‌وری آب در این دور آبیاری روند نزولی داشت. بهره‌وری آب در سناریوهای ۲(۱۰) و ۴(۲۰) برابر بود. بااین‌وجود مقدار آب مصرفی در سناریوی ۴(۲۰) اندکی کمتر از سناریوی ۲(۱۰) بود. علی‌رغم اینکه عملکرد و زیست‌توده در سناریو ۴(۲۰) با مقادیر مشاهداتی (شکل ۱) برابر بود، لیکن بهره‌وری آب در این سناریو ۹/۵ درصد بیشتر از شرایط واقعی مزرعه بود. روند تغییرات عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (T7) مشابه آبیاری قطره‌ای سطحی (T1) بود (شکل ۴). با توجه به ماهیت مشابه روش آبیاری در دو تیمار T1 و T7، مقادیر عملکرد و زیست‌توده در این دو روش نیز تقریباً یکسان بود. روند تغییرات عملکرد و زیست‌توده در آبیاری جویچه‌ای (T4) مشابه تیمار T1 بود ولی بهره‌وری آب در این تیمار روند منظمی نداشت (شکل ۵). میزان عملکرد در سناریو ۱۰(۱۰) برابر با ۰/۶ تن در هکتار بود. این مقدار بسیار پایین بود و حتی نسبت به شرایط واقعی مزرعه نیز اندک بود به حدی که عملکرد تیمار T5 در شرایط مزرعه بیشتر از این سناریو بود (شکل ۱). با افزایش عمق آبیاری به ۳۰ میلی‌متر، عملکرد حدود ۵۰ درصد افزایش یافت. افزایش عملکرد با اعمال عمق‌های ۵۰، ۷۰ و ۹۰ میلی‌متر به ترتیب ۴۰۰، ۴۵۰ و ۴۸۰ درصد نسبت به عمق ۱۰ میلی‌متر افزایش یافت. عملکرد و زیست‌توده گلرنگ در سناریو ۱۰(۹۰) به ترتیب برابر با ۳/۵ و ۱۱/۵ تن در هکتار بود. این مقادیر مشابه عملکرد و زیست‌توده به‌دست‌آمده در سناریوهای ۲(۱۰) و ۴(۳۰) در روش آبیاری قطره‌ای سطحی (T1) بود (شکل ۳)؛ بنابراین حتی با اعمال ۹۰ میلی‌متر آب آبیاری در روش جویچه‌ای مقدار عملکرد و زیست‌توده قابل‌قبول نبود. کاهش آب در دسترس در زراعت گلرنگ سبب کاهش تعداد طبق در بوته می‌شود و به همین دلیل عملکرد به‌شدت کاسته می‌شود (قربی و همکاران، ۱۳۹۶). از طرفی تنش آبی با ممانعت از رشد جوانه‌های جانبی سبب کاهش تعداد شاخه‌های فرعی می‌گردد (قربی و همکاران، ۱۳۹۶). به همین دلیل زیست‌توده نیز کاهش می‌یابد. در دور آبیاری ۲۰ روز، عملکرد به‌صورت متوسط ۳۰ درصد و زیست‌توده به‌صورت متوسط ۲۰ درصد کمتر از دور آبیاری ۱۰ روز بود. بهره‌وری آب در دو سناریو ۱۰(۳۰) و ۲۰(۳۰) بیشتر از سایر سناریوها و به ترتیب برابر با ۰/۶۹ و ۱ کیلوگرم بر مترمکعب بود. مقدار آب آبیاری مورداستفاده در این دو سناریو به ترتیب برابر با ۳۶۰ و ۱۸۰ میلی‌متر بود که به ترتیب ۳/۲ و ۶/۴ برابر تیمار تک آبیاری (T5) در شرایط آزمایشی بود (شکل ۱). بااین‌وجود عملکرد و زیست‌توده در این دو سناریو بسیار بیشتر از تیمار تک آبیاری (T5) بود. مقدار آب آبیاری در سناریو ۲۰(۱۰) و تیمار تک آبیاری (T5) مشابه بود. لیکن عملکرد در این سناریو ۶۶ درصد کمتر از تیمار تک آبیاری بود. این نتایج نشان می‌دهد که در شرایط کمبود آب، بهتر است آبیاری فقط در دوره‌های بحرانی رشد گیاه انجام شود.



شکل ۳- مقایسه عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب در دور و مقادیر آب آبیاری در تیمار آبیاری قطره‌ای سطحی (T1)



شکل ٤- مقایسه عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب در دور و مقادیر آب آبیاری در تیمار آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (T7)

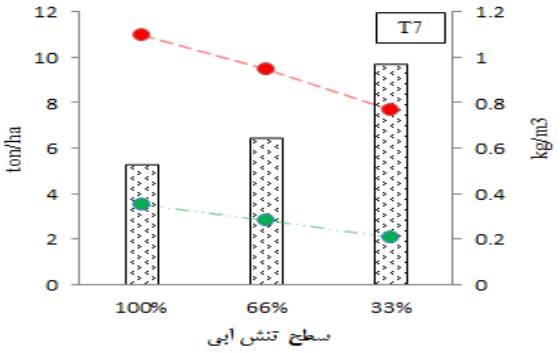


شکل ٥- مقایسه عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب در دور و مقادیر آب آبیاری در تیمار آبیاری جویچه‌ای (T4)

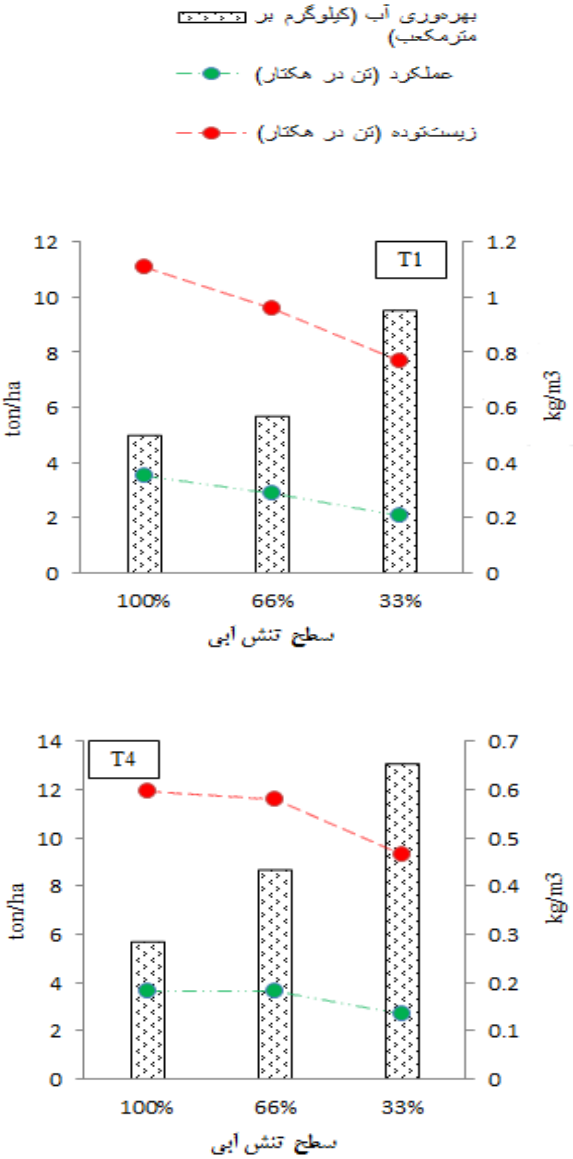
نتایج استراتژی سوم آبیاری

تأمین نیاز آبی گیاه در سطوح ۱۰۰، ۶۶ و ۳۳ درصد در طول فصل رشد برای آبیاری قطره‌ای سطحی (T1) در شرایط مزرعه‌ای مورد آزمایش قرار گرفت و برای واسنجی مدل AquaCrop استفاده شد (شکل ۱). در ادامه، تأمین نیاز آبی گیاه در سطوح مختلف برای روش‌های آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (T7) و آبیاری جویچه‌ای (T4) نیز با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد. نتایج نشان داد که در روش آبیاری قطره‌ای سطحی (T1)، تأمین نیاز آبی در سطوح ۶۶ و ۳۳ درصد سبب کاهش عملکرد به میزان ۱۷ و ۴۰ درصد نسبت به تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی شد. کاهش زیست‌توده نیز به ترتیب ۱۳/۵ و ۳۰/۵ درصد برآورد شد (شکل ۶). بااین‌وجود تأمین نیاز آبی در سطوح ۶۶ و ۳۳ درصد سبب افزایش بهره‌وری آب نسبت به تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی شد. این نتایج در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (T7) نیز مشاهده شد اما مقادیر عملکرد و زیست‌توده به مقدار ناچیزی بیشتر از روش قطره‌ای سطحی بود. در روش آبیاری جویچه‌ای (T4)، تأمین نیاز آبی گیاه تا سطح ۶۶ درصد تغییری در عملکرد گلرنگ ایجاد ننمود ولی میزان زیست‌توده ۲/۵ درصد کاهش یافت. تأمین نیاز آبی گیاه در سطح ۳۳ درصد سبب کاهش عملکرد و زیست‌توده به ترتیب برابر با ۲۵ و ۲۲ درصد شد. در روش آبیاری جویچه‌ای، بهره‌وری آب مشابه روش قطره‌ای سطحی تغییر کرد. مقایسه بهره‌وری آب در این دو روش نشان داد که روش آبیاری قطره‌ای سطحی دارای مقادیر بالاتری (به‌طور

متوسط ۳۰ درصد) بود. مقایسه عملکرد در سه روش آبیاری موردمطالعه نشان داد که در روش‌های قطره‌ای سطحی و زیرسطحی اعمال تنش آبی سبب تغییرات شدیدتر عملکرد و زیست‌توده خواهد شد؛ زیرا در این استراتژی، نفوذ عمقی آب و نگهداشت آن در لایه‌های خاک کمتر از آبیاری جویچه‌ای است؛ بنابراین با کمبود آب قابل‌دسترس تعداد آغازه‌های گل که تعیین‌کننده دانه هستند کاهش می‌یابد. همین دلیل منجر به کاهش تعداد دانه و به دنبال آن کاهش عملکرد می‌شوند (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل ٦- مقایسه عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب شبیه‌سازی‌شده گلرنگ با استفاده از مدل AquaCrop در سطوح مختلف تنش آبی



نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر سه استراتژی برنامه‌ریزی آبیاری بر عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب گیاه گلرنگ با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی شد. بیشترین عملکرد، زیست‌توده و بهره‌وری آب در استراتژی نخست (اعمال آبیاری تا حد ظرفیت زراعی) با اعمال دورهای ۵ و ۱۰ روز برای هر سه روش آبیاری قطره‌ای، قطره‌ای زیرسطحی و جویچه‌ای به دست آمد. بیشترین مقادیر پارامترهای ذکرشده در استراتژی دوم (تغییر دور آبیاری) با اعمال ۱۰ میلی‌متر آبیاری با دور ۲ روز برای سیستم‌های قطره‌ای و قطره‌ای زیرسطحی و اعمال ۳۰ میلی‌متر آبیاری با دور ۱۰ روز برای سیستم جویچه‌ای به دست آمد. در استراتژی سوم (تأمین بخشی از نیاز آبی در کل دوره رشد) عملکرد دانه و زیست‌توده گلرنگ تحت تنش آبی در دو سیستم آبیاری قطره‌ای و قطره‌ای زیرسطحی به‌شدت کاهش یافت. مناسب‌ترین سناریو در آبیاری جویچه‌ای با تأمین ۶۶ درصد نیاز آبی به دست آمد. با در نظر گرفتن کلیه شرایط، پیاده‌سازی استراتژی‌های اول و دوم در مزرعه راحت‌تر است. از طرفی، نتایج به‌دست‌آمده تیمارهای متناظر در استراتژی دوم بهتر از استراتژی نخست بود. به همین دلیل پیشنهاد می‌شود که از این استراتژی در برنامه‌ریزی آبیاری گلرنگ در مزرعه استفاده شود.

منابع

ابراهیمی پاک، ن. ع.، احمدی، م.، اگدرنژاد، ا. و خاشعی‌سیوکی،

ع. ۱۳۹۷. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد زعفران تحت سناریوهای مختلف کم‌آبیاری و مصرف زئولیت. نشریه حفاظت منابع آب و خاک. ۸ (۱): ۱۳۱-۱۱۷.

ابراهیمی پاک، 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(۳-۷۵): ۷۲۶-۷۱۵.

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

جوزی، م.، قربانی، ز.، قدمی‌فیروزآبادی، ع.، سپهری، ن. و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل AquaCrop تحت مدیریت کم‌آبیاری کلون‌های جدید سیب‌زمینی در همدان. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱(۱۴): ۲۴۰-۲۳۰.

دانشور، ف. و خواجوئی‌نژاد، غ. ۱۳۹۳. بررسی اثر کاربرد کودهای زیستی بر پتانسیل عملکرد و اجزای عملکرد ارقام گلرنگ (Cartahamus tinctorius L.) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری. نشریه آب و آبیاری کرمان. ۴(۱۶): ۶۹-۵۹.

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. نشریه به‌زراعی کشاورزی. ۲۰(۲): ۵۰۲-۴۸۷.

قربی، س.، صادقی‌بختوری، ا.، پاسبان اسلام، ب. و محمدی، ح. ۱۳۹۶. اثر سطوح مختلف پرایمینگ بذر بر بهبود عملکرد گلرنگ و اجزای آن در شرایط تنش آبیاری. مجله اکوفیزیولوژی گیاهی. ۹(۳۱): ۵۲-۴۲.

کریمی، ش.، اگدرنژاد، ا. و نخجوانی مقدم، م. م. ۱۴۰۰. بررسی دقت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت دانه‌ای در تراکم‌های کاشت متفاوت و مقادیر مختلف آب. نشریه محیط‌زیست و مهندسی آب. ۷(۱): ۷۲-۵۹.

کریمی‌اورگانی، ح.، رحیمی‌خوب، ع. و نظری‌فر، م. ه. ۱۳۹۶. ارزیابی مدل AquaCrop در شبیه‌سازی زیست‌توده جو در شرایط کم‌آبیاری. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۱,۳ (۳): ۳۵۳-۳۴۱.

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

مقصودی، ع.، یدوی، ع.، موحدی‌دهنوی، م. و بلوچی، ح. ۱۳۹۷. تأثیر قطع آبیاری و سیستم‌های مختلف تغذیه‌ای بر عملکرد و اجزاء عملکرد گلرنگ بهاره در منطقه یاسوج. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۱(۱): ۱۱۲-۱۰۱.

Abedinpour, M. 2020. Evaluation of AquaCrop model in soybean cultivation under different planting dates and deficit irrigation treatments, Iran Agricultural Research. 39(2): 37-46.

Amiri, E., Bahrani, A., Irmak, S. and Mohammadiyan Roshan, N. 2021. Evaluation of irrigation scheduling and yield response for wheat cultivars using AquaCrop model in an arid climate. Water Supply, 22(1), 602-614.

Asqarpanh, J. and Kazemivash, N. 2013. Pharmacology and medicinal properties of (Carthamustin ctorius L). Chines. Journal of integrative Medicine. 19(2): 59-53.

Hellal F., S. El -Sayed, H. Mansour and Abdel-Hady, M. 2021. Effects of micronutrient mixture foliar spraying on sunflower yield under water deficit and its evaluation by AquaCrop model. Agricultural Engineering International: CIGR Journal, 23(2): 43-54.

Khafajeh, H., Banakar, A., Minaei, S. and Delavar, M. 2021. Evaluation of AquaCrop model of cucumber under greenhouse cultivation. Agricultural Science. 158(10), 845-854.

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.23p

Water Management in Agriculture
Vol. 8, No. 2, Autumn and Winter, 2022, 67-78

نشریه مدیریت آب در کشاورزی
جلد ۸، شماره ۲، پاییز و زمستان، ۱۴۰۰، ص. ۷۸-۶۷

Safflower Plant Irrigation Planning under Different Irrigation Management Using Aquacrop Model

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

Abstract

Safflower is one of the most important oil crops whose yield decreases under water stress. Therefore, determining its response to different irrigation water managements is very important. To do that, in this study, AquaCrop model was used to simulate three irrigation scheduling strategies of safflower for drip, subsurface drip and furrow irrigation methods. At first, AquaCrop was calibrated using data collected from a research farm located at 34˚ 21’ N and 47˚ 9’ E, in Kermanshah, Iran. In the first strategy, apply irrigation up to field capacity at a constant rate (1, 5, 10 and 20 days), in the second strategy, apply a constant amount of irrigation water (values of 10 to 50 mm for drip and subsurface drip irrigation methods and values up to 10 90 mm for furrow method at constant duration 2 and 4 days for drip and subsurface drip irrigation and 10 and 20 days for furrow) and in the third strategy apply water stress levels of 100, 66 and 33% during the growing season for all three Irrigation method was considered. The results showed that the highest yield, biomass and water productivity were obtained in the first and second strategies. Maximum values for yield and biomass were 3.7 and 12.2 fon.ha^{-1}, respectively, and maximum water productivity was 0.54 kg.m^{-3} in both drip and subsurface drip irrigation and 0.69 kg.m^{-3} in furrow irrigation. As the second strategy is easier for farmers to implement, it is suggested that this method be used. Therefore, for drip irrigation and subsurface drip scenario, it is recommended to apply 10 mm of irrigation water with a period of two days, and apply 30 mm water irrigation with a period of 10 days.

Keywords: Crop modeling, Drip irrigation, Furrow irrigation, Water requirement, 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 (*Corresponding Author Email: a_eigder@ymail.com)
[3] Assistant professor of Irrigation and Drainage Engineering, Agricultural Engineering Research Institute (AERI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran
Received: 1 July 2021
Accepted: 7 Sept 2021