نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۶، بهمن - اسفند ۱۴۰۱، ص. ۱۲۵۴-۱۲۴۵

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 16, Feb.-Mar. 2023, p. 1245-1254

مقاله علمی-پژوهشی

برنامه‌ریزی دور آبیاری گیاه نیشکر و توزیع رطوبت خاک با مدل AquaCrop

جمال محمدی معله‌زاده[1*]، عبدعلی ناصری[2] و عبدالرحیم هوشمند[3]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۵

چکیده

محدودیت منابع آب، عدم برنامه‌ریزی آبیاری و استفاده نامطلوب از آب، عامل اصلی محدود کننده توسعه کشاورزی و افزایش تولیدات غذایی در ایران است. مدل‌های گیاهی و ریاضی برای شبیه‌سازی برآورد رطوبت خاک و برنامه‌ریزی آبیاری گیاه، ابزار مناسبی برای بهبود مدیریت آبیاری، افزایش محصول و راندمان آبیاری می‌باشند. این پژوهش در سال ۱۳۹۶ با هدف بررسی توانایی مدل AquaCrop در برنامه‌ریزی آبیاری و برآورد رطوبت خاک در اراضی کشت نیشکر دعبل خزاعی واقع در جنوب استان خوزستان انجام شد. به‌همین‌منظور نتایج شبیه‌سازی رطوبت خاک و برنامه‌ریزی آبیاری بوسیله مدل AquaCrop با مقادیر اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه شد. به‌طور کلی نتایج نشان داد، دقت مدل در برآورد برنامه‌ریزی آبیاری، از برآورد رطوبت خاک بیشتر است. دقت مدل در برآورد رطوبت خاک با مقادیر اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه به طور میانگین تا ۲/۲۵ درصد بیشتر نشان داد. به‌طوری‌که جزر میانگین مربعات خطا (RMSE)، جزر میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، ضریب تعیین (R^2)، شاخص سازگاری (d) و ضریب باقیمانده (CRM) به ترتیب ۲/۱۲ درصد، ۰/۰۸، ۰/۷۱، ۰/۸۸ و ۰/۰۳۵- به دست آمد. همچنین نتایج شبیه‌سازی دور آبیاری نیشکر در مزرعه نشان داد تعداد ۴ دور آبیاری به طور میانگین معادل ۴۸۰۰ مترمکعب در هر هکتار نسبت به مزارع شاهد صرفه‌جویی شد. میزان عملکرد محصول این مزرعه ۱۲۸ تن در هکتار و متوسط عملکرد مزارع شاهد برابر۱۰۳/۶۰ تن در هکتار بدست آمد. نتایج تحقیقات نشان داد که مدل AquaCrop می‌تواند روش مناسبی برای برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری اراضی کشت نیشکر مورد استفاده قرار بگیرد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، رطوبت خاک، مدیریت آبیاری، AquaCrop

مقدمه

کمبود آب یکی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار در تولید محصولات کشاورزی تلقی می‌گردد. لذا مطالعه و توسعه راه‌کارهای مدیریتی مناسب برای افزایش کارایی مصرف آب و همچنین پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی تحت هریک از سناریوهای مدیریتی از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌منظور شناخت تأثیر راه‌کارهای مدیریتی بر تولید محصولات کشاورزی، مطالعات مزرعه‌ای موردنیاز است. اما با توجه به زمان‌بر بودن و هزینه‌های قابل‌توجه چنین مطالعاتی، مدل‌های شبیه‌ساز به‌عنوان ابزاری برای بررسی راه‌کارهایی که امکان بررسی آن‌ها در همه شرایط وجود ندارد توسعه داده‌شده‌اند، این مدل‌ها در سطح گسترده‌ای برای بهینه‌سازی مدیریت تولید محصولات زراعی مورداستفاده قرارگرفته‌اند. همچنین می‌توانند تأثیر تغییر اقلیم بر تولید گیاهان زراعی را شبیه‌سازی نموده و تمهیدات لازم برای سازگاری به این تغییرات را ارائه دهند. در دهه‌های اخیر استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به‌عنوان ابزاری نوین برای برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری، روزبه‌روز در حال توسعه و پیشرفت است، نتایج پژوهش با استفاده از مدل AquaCrop، شرایط مدیریتی مختلف بر روی محصول گندم، برای سناریوهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. عملکرد محصول در شرایط مدیریتی مختلف، متفاوت است. بنابراین با تغییر عمق آبیاری در دور ۱۰ روز به عنوان گزینه منتخب در مراحل مختلف رشد، مقدار ماده خشک تولیدی و میزان بهره‌وری به مقدار قابل توجهی افزایش پیدا کرده است (قوجانیان و همکاران، ۱۳۹۸). نتایج ارزیابی مدل AquaCrop برای کلون‌های مختلف سیب زمینی تحت تیمارهای تنش آبی نشان داد که این نرم افزار قادر به شبیه‌سازی رشد و عملکرد گیاه سیب‌زمینی می‌باشد. همچنین مقادیر واقعی و شبیه‌سازی عملکرد ماده خشک و بهره‌وری مصرف آب در کلون‌های

۱-کارشناسی ارشد آبیاری و رئیس اداره سنجش از دور و GIS مؤسسه تحقیقات و توسعه نیشکر خوزستان، خوزستان، ایران
۲- استاد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
۳- دانشیار، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
(*- نویسنده مسئول: (Email: jamalmohammadi611@gmail.com
DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.6.14.1

مختلف سیب‌زمینی متفاوت بود و خطای آماری مربوط به بهره‌وری مصرف آب بیش از عملکرد ماده خشک شد (جوزی و همکاران، ۱۳۹۹). در پژوهش شبیه‌سازی پاسخ تولید نیشکر به کم آبیاری با استفاده از مدل AquaCrop با چهار تیمار آبیاری در خوزستان بررسی شد. نتایج نشان داد عملکرد نیشکر شبیه‌سازی شده با خطای NRMSE برابر ۱/۸۹ و خطای RMSE برابر ۱/۷ قابل قبول است. همچنین شبیه‌سازی بهره‌وری آب (WP) خطای NRMSE برابر ۱/۴۴ و RMSE برابر ۰/۰۶ بدست آمد. نتایج نشان داد که مدل AquaCrop ابزار مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد نیشکر و بهره‌وری آب در شرایط کم آبیاری در ایران است (Bahmani et al., 2018).

نتایج پژوهش به منظور تعیین عمق بهینه آبیاری و تحلیل اقتصادی آن برای محصول گندم و گوجه فرنگی در مزارع خراسان رضوی (مشهد) به کمک مدل Aquacrop انجام شده است. با محاسبه ۴ سطح از آب آبیاری نشان داده شده است که حداکثر عمق آبیاری به میزان ۳۰ درصد برای گندم و ۱۰ درصد برای گوجه فرنگی برای بدست آوردن حداکثر عملکرد، کاهش مصرف آب صورت گرفته است. منحنی توابع تولید رسم شده این محصولات نشان از افزایش عملکرد ۵۷ درصد برای گندم و حدود ۲۰ درصد برای گوجه فرنگی بوده است که در تحلیل اقتصادی سود حاصل از آن برای گندم ۵۱/۰۱ میلیون ریال و برای گوجه فرنگی ۱۱۷/۸۰ میلیون ریال بدست آمده است (انصاری و همکاران، ۱۳۹۳).

نتایج پژوهش مدل AquaCrop در شبیه‌سازی آب مصرفی، عملکرد محصول نیشکر و بهره‌وری آب با دو سیستم آبیاری قطره‌ای و سطحی در پاسوروان اندونزی بررسی شد. نشان داد سیستم آبیاری قطره‌ای در برآورد عملکرد ۷ تا ۸ درصد و بهره‌وری آب ۱۲ تا ۱۶ درصد نسبت به روش مرسوم افزایشی بوده است و مدل AquaCrop این نتایج را از قبل پیش‌بینی کرده بود (Mawardhi et al., 2022).

ارزیابی مدل AquaCrop برای گیاه پنبه در شرایط کم آبیاری و آبیاری کامل گزارش کردند که مدل با دقت نسبتاً بالایی روند تغییرات رطوبت در نیم‌رخ خاک را شبیه‌سازی می‌کند. آن‌ها همچنین اعلام کردند در تیمارهای کم آبیاری مدل مقادیر رطوبت نیم‌رخ خاک را بیش برآورد کرده و دقت مدل در شبیه‌سازی رطوبت در اعماق مختلف متفاوت است (Farahani et al., 2009). نتایج ارزیابی مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رطوبت نیم‌رخ خاک، نشان داد که مدل توانسته است رطوبت ناحیه توسعه ریشه گیاه گندم را با دقت مناسب شبیه‌سازی نماید، به‌طوری‌که مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، R^2 و شاخص سازگاری (d) برای شرایط آبیاری کامل به ترتیب ۳/۵ درصد، ۰/۸۶ و ۰/۸۴ و برای شرایط کم آبیاری به ترتیب ۴ درصد، ۰/۹۵ و ۰/۹۳ به دست آمدند (Andarzian et al., 2011). نتایج مدل AquaCrop برای گیاه پنبه در روزهای آبیاری و بین دو آبیاری با دقت مناسبی رطوبت نیم‌رخ خاک را شبیه‌سازی می‌نماید. اما به‌طورکلی مدل مقادیر رطوبت را بیش برآورد می‌کند (Hussein et al., 2011).

نتایج پژوهش بهینه‌سازی و مدیریت مصرف آب نیشکر با استفاده از مدل شبیه‌سازی AquaCrop، نشان داد در شبیه‌سازی پوشش سایبان در مجموعه‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب NRMSE برابر ۲/۱ تا ۱۵/۶ درصد و ۳/۸ تا ۱۸/۳ درصد، برای شبیه‌سازی زیست توده با مقادیر NRMSE ۶/۲ تا ۱۵/۲ درصد و ۹/۵ تا ۱۲/۶ درصد و ضریب تبیین (R^2)، محدوده ۰/۹۸ تا ۰/۹۹ نشان داد که توانایی بالای مدل AquaCrop در شبیه‌سازی پوشش سایبان و عملکرد زیست توده است. همچنین مقادیر NRMSE رطوبت خاک در مجموعه‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب از ۱۱/۶ تا ۲۳/۸ و ۱۲/۲ تا ۲۲/۷ و ضریب تبیین ۰/۷۳ تا ۰/۹۶ (کالیبراسیون)، ۰/۸ تا ۰/۹۳ (اعتبارسنجی) دقت کمتری از مدل در شبیه‌سازی را نشان داد (Abedinzadeh et al., 2021).

با توجه به مرور منابع مشخص شد که مدل AquaCrop از توانایی خوبی در مدیریت آبیاری و برآورد رطوبت خاک برخوردار است اما تاکنون بصورت عملی از آن برای برنامه‌ریزی آبیاری در اراضی نیشکر استفاده نشده است. بنابراین هدف این مطالعه مدل‌سازی و دستیابی به دور آبیاری مناسب نیشکر، پایش میزان رطوبت خاک در دوره رشد و بررسی تنش آبی مزارع به منظور برنامه‌ریزی آبیاری اراضی کشت و صنعت‌های نیشکر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل AquaCrop: مدل AquaCrop با توجه به معادله Doorenbos و Kassam در سال ۱۹۷۹، از طریق تفکیک کردن تبخیر و تعرق واقعی (ETa) تبخیر از سطح خاک (Es) و تعرق از سطح گیاه (Ta) و عملکرد نهایی محصول (Y) به ماده خشک (B) و شاخص برداشت (HI) توسعه یافت (Doorenbos et al., 1979). در مدل AquaCrop سیستم گیاه زراعی از پنج قسمت اصلی (فنولوژی، پوشش سبز گیاه، عمق ریشه دهی، ماده خشک تولیدشده و عملکرد قابل‌برداشت) تشکیل‌شده است که بیشتر در ارتباط با فرایندهای دینامیک گیاه زراعی می‌باشد. در این مدل ارتباط نرخ رشد ماده خشک با تعرق از طریق معادله زیر بیان می‌شود:

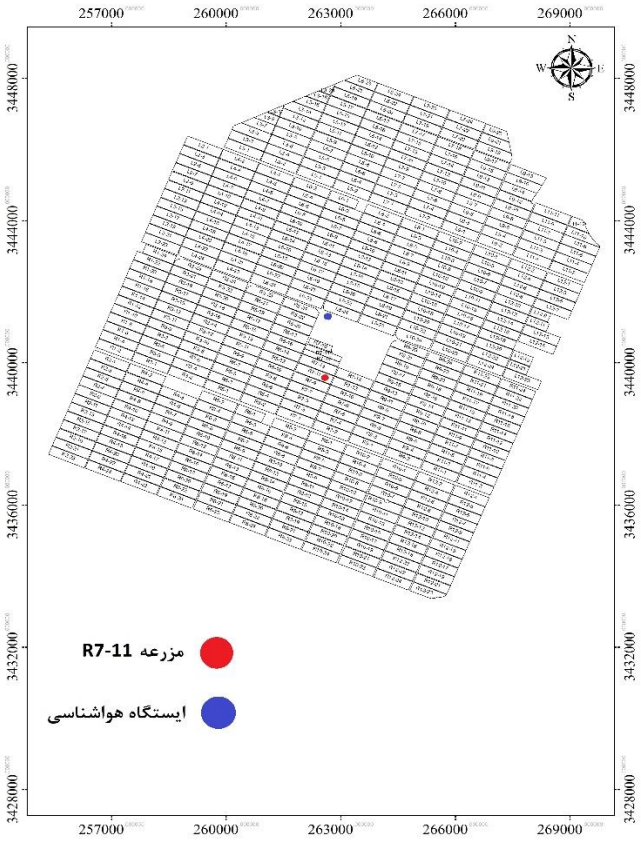
$$AGB = WP \times TC/ET_0 \quad (۱)$$

که در این رابطه AGB نرخ رشد ماده خشک روی سطح زمین، WP ($kg\ (m^3)^{-1}$) بهره‌وری، TC ($mm\ day^{-1}$) تعرق گیاه و ($mm\ day^{-1}$) ET_0 تبخیر و تعرق مرجع هستند. محاسبه تبخیر و تعرق در این مدل، بر اساس روش ضریب گیاهی دوگانه می‌باشد.

کلیات طرح

معرفی منطقه مورد مطالعه: منطقه مطالعاتی در کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی در ناحیه عرض جغرافیایی "۳۰/۱۸۱ '۴ °۳۱ شمالی و طول شرقی "۲/۳۷۶ '۳۱ °۴۸ واقع شده است (شکل ۱). این کشت و صنعت یکی از کشت و صنعت‌های هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی است. عملیات زیربنایی مرتبط با بخش کشاورزی مشتمل بر ایجاد شبکه آبیاری و زهکشی بوده بطوریکه آب آبیاری توسط پمپ از کانال آبیاری (رودخانه کارون) به سمت لوله های فلزی هدایت و از طریق لوله‌ها به باکس‌های دوقلو سیمانی که نقش تأمین فشار جهت حرکت لوله‌های هیدروفلوم را دارند هدایت می‌شود. اساس طراحی مزارع نیشکر به صورت ۲۵ هکتاری با طول مزرعه ۱۰۰۰ متر و فاصله فاروها ۱/۸۳ متر است. همچنین دارای یک سیستم مدرن زهکشی مشتمل بر لوله‌های لترال، کلکتور و ایستگاه‌های پمپاژ می‌باشد.

مشخصات خاک مزرعه آزمایشی: داده‌های مورد نیاز خاک از نمونه برداری های مزرعه ای و تعیین ویژگی‌های آن در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر به دست آمده است. نتیجه تجزیه فیزیکی و شیمیایی نمونه خاک محل آزمایش در جدول (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- نمایی از مزرعه مورد مطالعه در کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی

جدول ۱- میانگین خصوصیات فیزیکی و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک قبل از شبیه‌سازی دور آبیاری در مزرعه R7-11

موقعیت	عمق (cm)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک (dS m-1)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (g cm^{-3})	ظرفیت زراعی (% θv)	نقطه پژمردگی موقت (% θv)
۱	۳۰-۰	۲/۱	لومی رسی	۱/۴	۳۴/۰	۲۳/۰
	۶۰-۳۰	۲/۳				
۲	۳۰-۰	۱/۶	رسی سیلتی			
	۶۰-۳۰	۱/۹				
۳	۳۰-۰	۱/۵	لومی رسی			
	۶۰-۳۰	۱/۵				

روش انجام تحقیق: به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری گیاه نیشکر با مدل AquaCrop، اطلاعات هواشناسی، اطلاعات گیاهی (فراسنج‌های گیاهی)، اطلاعات خاک (خصوصیات فیزیکی و عمق آب زیرزمینی) و مدیریت زراعی (روش آبیاری و مدیریت مزرعه) نیاز می‌باشد و در ذیل آمده است:

فراسنج‌ها و اطلاعات گیاهی: اطلاعات مربوط به گیاه نیشکر پلنت واریته CP69-1062، شامل زمان دوره رشد از کاشت تا برداشت، تاریخ کشت، مشخصه‌های شاخص برداشت، سرمازدگی، تنش غرقابی و شوری، حداکثر عمق توسعه ریشه، تراکم گیاهی، کنترل روزنه‌ها، ضریب تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب در فهرست مربوطه مدل تعریف می‌شود. این اطلاعات گیاهی شامل فراسنج‌های ثابت و اطلاعات ویژه کاربر هستند. مقادیر فراسنج‌های گیاهی ثابت برای اکثر گیاهان زراعی به‌عنوان پیش فرض در مدل وجود دارد. این فراسنج‌ها با گذشت زمان یا موقعیت جغرافیایی تغییر نمی‌کنند. توصیه می‌شود برای افزایش دقت و کارایی شبیه‌سازی، و همچنین به دلیل اختلاف ارقام گیاهی نیشکر، مقادیر این فراسنج‌ها ضمن آزمایش‌های صحرایی، مورد بررسی قرارگرفته و در صورت لزوم اصلاحات در مدل اعمال شود. در این پژوهش آزمایش‌های صحرایی مورد نیاز بررسی گردید و فراسنج‌های لازم گیاهی در مدل واسنجی شد. دمای پایه (T_{base}) و دمای بالا (T_{upper}) مربوط به واسنجی تنش سرمازدگی در مدل است، گیاه نیشکر در اثر سرمازدگی منجر به کاهش تعداد ساقه، ارتفاع، قطر، وزن ساقه و کاهش تولید می‌شود، رشد نیشکر در دمای پایین‌تر از ۱۰+ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌یابد و در صورتی که دما به ۵+ درجه سانتی‌گراد برسد، اولین علایم صدمه به گیاه به صورت زرد شدگی برگ‌ها نمایان می‌شود. که در این مدل دمای پایه ۱۰+ و دمای بالا ۴۷+ درجه سانتی‌گراد تعیین شد. آستانه بالا و پایین تخلیه رطوبتی خاک برای گسترش کانوپی، مربوط به تنش آبی گیاه در مدل است که براساس بافت خاک مزرعه مورد نظر، درصد رطوبت حجمی اشباع خاک (P_{lower}) و درصد رطوبت حجمی نقطه پژمردگی (P_{upper}) مشخص می‌شود. واسنجی شاخص برداشت در مدل برای هر واریته متفاوت است که این شاخص از نسبت عملکرد (yield) به بیوماس (اندام هوایی گیاه) بدست می‌آید. مقادیر فراسنج‌های گیاهی برای گیاه نیشکر و پلنت واریته CP69-1062، پس از اعمال اصلاحات و نمونه برداری‌های لازم در مدل AquaCrop در جدول (۳) آمده است.

اطلاعات اقلیمی: اطلاعات آماری سال‌های ۱۳۹۳ الی ۱۳۹۵ ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت دعبل خزاعی شامل حداکثر و حداقل دما، میانگین رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، سرعت باد جهت تعیین تبخیر و تعرق مرجع (ET_0) روزانه با استفاده از نرم‌افزار ET_0Calculator 3.1 که روش پنمن‌مانتیث فائو را مبنای محاسبات نیاز آبی خود قرار داده است به دست آمد. خروجی نرم‌افزار ET_0Calculator 3.1 به‌عنوان فایل ورودی تبخیر و تعرق گیاه مرجع در نرم‌افزار AquaCrop فراخوانی می‌شود. میانگین سالانه غلظت CO_2 برای سال‌های موردنظر به‌صورت آماده در مدل وجود دارد.

اطلاعات مربوط به خاک: اطلاعات مورد نیاز در این قسمت از مدل، شامل بافت خاک، عمق نمونه برداری، نقطه پژمردگی، ظرفیت زراعی، درصد اشباع خاک، کل آب قابل دسترس، هدایت هیدرولیکی، لایه محدودکننده و صعود کاپیلاری می‌باشد.

اطلاعات مدیریت زراعی: این اطلاعات در مدل شامل روش آبیاری و مدیریت مزرعه می‌باشد. در روش آبیاری، چهار روش شامل دیم، آبیاری بر اساس نیاز خالص آبیاری، آبیاری مزرعه بر اساس دورهای از قبل تعیین شده، برنامه‌ریزی و تعیین دور آبیاری مناسب با توجه به شرایط اقلیم منطقه می‌باشد. در این پژوهش از روش چهارم یعنی برنامه‌ریزی و تعیین دور آبیاری مناسب با توجه به شرایط اقلیم منطقه، تخلیه مجاز رطوبتی و کیفیت آب آبیاری انجام شد.

پیش‌بینی زمان آبیاری مزرعه: پس از وارد کردن اطلاعات مورد نیاز و اجرا کردن مدل، زمان آبیاری مزرعه با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و خصوصیات مزرعه دور آبیاری نیشکر با توجه به نیاز در جدول (۴) پیش‌بینی شد و در مزرعه اجرا گردید.

حد قابل قبول رطوبت خاک برای دور آبیاری بعدی: گیاه نیشکر در هنگام آبیاری در وضعیت طبیعی از ۲۱ تا ۲۴ درصد رطوبت حجمی خاک با توجه به بافت خاک نباید کمتر شود، با توجه به ظرفیت نگهداری خاک تنها ۶۰درصد مجاز به تخلیه در اثر جذب نیشکر و میزان آب خارج شده در اثر خروج ثقلی بایستی مجدداً به خاک اضافه گردد. در این پژوهش حد قابل قبول رطوبت خاک ۲۲/۵ درصد حجمی درنظر گرفته شده است.

تحلیل حساسیت مدل: با استفاده از رابطه (۳) تحلیل حساسیت مدل انجام شد (McCuen, R. H., 1973):

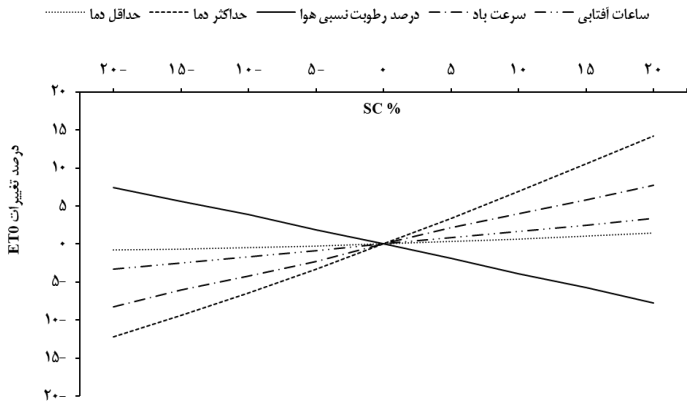
$$SC = \frac{\frac{\Delta w}{\bar{W}}}{\frac{\Delta P}{\bar{P}}} \times 100 \qquad (۳)$$

که در آن SC ضریب حساسیت بدون بعد، ΔW اختلاف مقدار پارامتر خروجی (رطوبت و اطلاعات هواشناسی) قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، $\bar{W}$ متوسط پارامتر خروجی قبل و بعد از تغییر پارامتر ورودی، ΔP اختلاف مقادیر پارامتر ورودی قبل و بعد از تغییر و $\bar{P}$ متوسط مقادیر ورودی یک پارامتر به مدل قبل و بعد از تغییر می‌باشد. با استفاده از جدول ۲ (بابازاده و سرائی تبریزی ۱۳۹۱) تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای ورودی انجام داد. برای شبیه‌سازی رطوبت خاک و دورآبیاری (متأثر بر اطلاعات هواشناسی منطقه)، ابتدا پارامترهای هیدرولیکی خاک با استفاده از مدل RETC تخمین زده شدند. به طوری‌که مشخصات هر لایه خاک مانند درصد

ذرات خاک، جرم مخصوص ظاهری به عنوان ورودی به مدل مذکور داده شد و درصد رطوبت اشباع خاک (θ_{sat})، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (K_{sat}) به‌عنوان خروجی به دست آمد. با توجه به اینکه رطوبت ظرفیت زراعی و پژمردگی موقت با استفاده از نمونه‌ای مرکب از دو لایه در نقاط مختلف سطح مزرعه تعیین شده بود (جدول ۱). برای تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامترهای هیدرولیکی خاک، θ_{PWP} ، θ_{FC}، K_{sat} و θ_{Sat} در لایه‌های مختلف به عنوان مبنا و داده‌های هواشناسی شامل حداقل و حداکثر دما، میانگین سرعت باد در ارتفاع ۲ متری، میانگین درصد رطوبت نسبی هوا و ساعات آفتابی در نظر گرفته شد. سپس در هر نوبت یکی از پارامترهای ورودی به مقدار در دامنه ۲۰± درصد (با گام های ۵ درصد) تغییر داده شد و بقیه پارامترها ثابت نگه داشته شدند و مدل با استفاده از شرایط جدید اجرا گردید. ضریب حساسیت براساس رابطه (۳) محاسبه و با استفاده از جدول (۲) و شکل (۲) طبقه‌بندی گردید.

جدول ۲- طبقه‌بندی پیشنهاد شده برای دامنه تغییرات ضریب حساسیت

دامنه تغییرات	SC=۰	۰<SC<۰/۳	۰/۳<SC<۱/۵	SC>۱/۵
شدت حساسیت	بدون حساسیت	حساسیت کم	حساسیت متوسط	حساسیت زیاد



شکل ۲- ارزیابی حساسیت تبخیر و تعرق مرجع در تغییر پارامترهای هواشناسی

جدول ۳- پارامترهای گیاهی به کار رفته در مدل AquaCrop

پارامتر گیاهی	مقدار	واحد
تاریخ کشت	۲ شهریور ۹۵	تاریخ
دوره رشد گیاه	۴۴۴	روز
تراکم بوته در هکتار	۱۳۰/۰۰۰	Plant ha^{-1}
عمق ریشه	۱۰۰	سانتی‌متر
دمای پایه T base	۱۲	^{o}C
دمای بالا T upper	۳۲	^{o}C
پوشش کانوپی اولیه در زمان تکمیل ۹۰ درصد سبز شدن CC0	۶/۵	cm^2
ضریب رشد کانوپی CGC	۲/۵	% day^{-1}
حداکثر کانوپی گیاه CCx	۱۰۰	٪
ضریب کاهش کانوپی CDC	۹/۵	% day^{-1}
شاخص برداشت HI	۸۰	٪
بهره‌وری آب نرمال شده WP	۳۳	gr $(m^2)^{-1}$
ضریب تعرق گیاهی برای پوشش کامل KcTr,x	۱/۰۸	–
آستانه بالای تخلیه رطوبتی خاک برای گسترش کانوپی P upper	۰/۵۲	–
آستانه پایین تخلیه رطوبتی خاک برای گسترش کانوپی P lower	۰/۲۲	–
فاکتور شکل ضریب تنش آبی خاک برای گسترش کانوپی	۵	–
آستانه بالای ضریب تخلیه رطوبتی خاک برای کنترل روزنه‌ها	۰/۴۵	–
فاکتور شکل ضریب تنش آبی خاک برای کنترل روزنه‌ها	۵	–

جدول ٤- پیش‌بینی دور آبیاری گیاه نیشکر با مدل AquaCrop و اجرای آن در مزرعه مورد پژوهش

ماه	تعداد دور آبیاری	پیش‌بینی فاصله آبیاری مدل (روز) و اعمال در مزرعه	تاریخ آبیاری مدل
فروردین	۱	۱۳	۳۰-۱۸
اردیبهشت	۳	۱۱-۱۱-۱۲	۳۰-۲۰-۱۰
خرداد	۳	۸-۱۱-۱۰	۲۵-۱۸-۸
تیر	۴	۱۱-۹-۹-۹	۲۸-۱۸-۱۰-۲
مرداد	۲	۱۳	۲۱-۹
شهریور	۲	۱۵-۱۴	۱۸-۴
مهر	۲	۱۹-۱۶	۲۰-۲

صحت‌سنجی مدل

اندازه‌گیری رطوبت ناحیه توسعه ریشه: نمونه‌برداری خاک در ناحیه توسعه ریشه به روش وزنی و ۲۴ تا ۴۸ ساعت قبل از شروع آبیاری شبیه‌سازی شده مدل، در قطعه ۳ هکتار آخر مزرعه که محل شروع آبیاری در هر دوره بود، در سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متری از روی پشته، نمونه خاک برداشته شد و در آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات توسعه نیشکر اندازه‌گیری‌های لازم انجام شد. لازم به توضیح است در مزارع نیشکر آبیاری در هر دوره با توجه به شکل شماره (۲) آبیاری از انتهای هیدروفلوم شروع می‌شود و به مدت ۴ تا ۵ روز آبیاری به ابتدای مزرعه می‌رسد، به همین دلیل محل نمونه برداری خاک برای پایش آبیاری بعدی ۳ هکتار انتهای مزرعه می‌باشد.

$$W = \frac{M_W - M_S}{M_S} \times 100 \quad (۴)$$

W: درصد رطوبت وزنی خاک (درصد)

Mw: وزن خاک‌تر + وزن ظرف (گرم)

Ms: وزن خاک خشک + وزن ظرف (گرم)

تجزیه و تحلیل داده‌ها: صحت‌سنجی مدل با استفاده از پارامترهای آماری جزر میانگین مربعات خطا (RMSE)، شاخص سازگاری R^2 برحسب درصد، ضریب تعیین (d) و ضریب باقیمانده (CRM) انجام شد.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{O}_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O}_i)^2} \quad (۵)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - \bar{O}_i| + |Q_i - \bar{O}_i|)^2} \quad (۶)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} Q_i} \quad (۷)$$

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

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

که در آن‌ها Pi مقادیر پیش‌بینی‌شده، Qi مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به کار رفته، $\bar{O}i$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده‌شده می‌باشد. مقدار R^2 نسبت میان پراکنش مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی‌شده را به دست می‌دهد. شاخص CRM گرایش مدل به سمت تخمین بیش‌ازحد یا کمتر از حد را نشان می‌دهد. مقدار CRM منفی نشانگر گرایش به سمت تخمین بیش‌ازحد است.

خطای جذر میانگین مربعات (RMSE)، تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد. RMSE یک ابزار خوبی است برای مقایسه خطای پیش‌بینی توسط یک مجموعه داده است و برای مقایسه چند مجموعه داده کاربرد ندارد. مقدار RMSE متناسب با واحد اندازه‌گیری متغیر است، مقایسه مقدار آن بین مدل‌های ساخته شده برای دو متغیر با واحدهای متفاوت درست نخواهد بود. لذا مقدار RMSE را به دامنه داده‌های متغیر وابسته تقسیم کرده و آن را RMSE نرمال شده (NRMSE) می‌نامند. این معیار برای مقایسه مدل‌های مختلف مناسب خواهد بود. لازم بذکر است که NRMSE زیر ۱۰ درصد نشان دهنده دقیق بودن مدل، ۲۰-۱۰ درصد مناسب بودن مدل، ۳۰-۲۰ درصد دقت متوسط و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل است.

نتایج و بحث

نتایج حاصل از شبیه‌سازی رطوبت خاک توسط مدل با داده‌های مشاهده شده در آزمون واسنجی در سه عمق ۳۰-۰، ۶۰-۳۰ و ۹۰-۶۰ سانتی‌متر در جدول (۵) آمده است. نتایج نشان می‌دهند که حداقل و حداکثر خطا در برآورد رطوبت خاک به ترتیب ۱/۶۷ و ۳/۷۸ درصد مربوط به عمق‌های ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر بود. بررسی جدول (۵) نشان داد که مدل در شبیه‌سازی میزان رطوبت خاک در عمق ۳۰-۰ سانتی‌متر دارای بالاترین دقت و با ۰/۸ > P_e > ۳/۲۷ درصد بوده

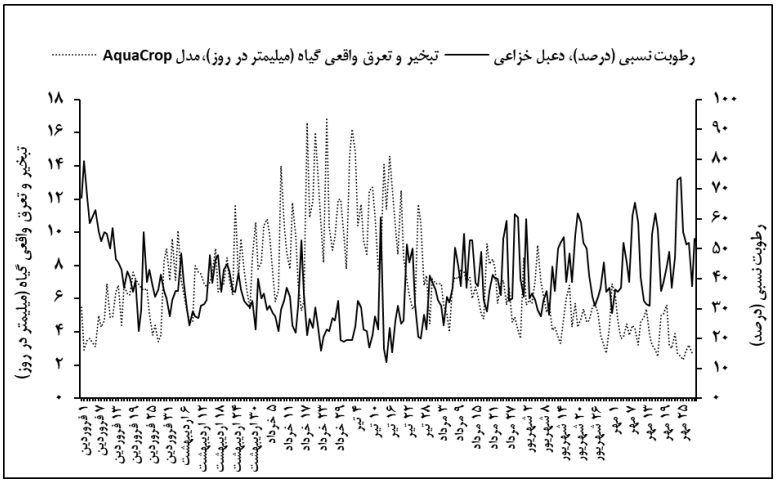
است. به طوری که می‌توان نتیجه گرفت که دقت مدل با افزایش عمق خاک کاهش می‌یابد. همچنین در مرحله اعتبار سنجی، مقدار ریشه میانگین مربعات خطای رطوبت خاک (RMSE) بین ۰/۰۲ تا ۷/۶۳ درصد در نوسان بود. این نتایج مبین آن است که مدل توانایی شبیه‌سازی و برآورد طوبت خاک را در زمان‌ها و اعماق مختلف را دارد. اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده و میزان خطای پیش‌بینی شده مدل می تواند ناشی از همگن نبودن بافت خاک در اعماق مختلف مزرعه باشد. همچنین دلایل دیگر در کاهش دقت مدل، به علت ساده‌سازی‌های مرتبط با بعضی از داده‌های ورودی باشد. شاخص‌های آماری تعیین دقت مدل در شبیه‌سازی درصد رطوبت حجمی خاک در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده در شرایط واقعی مزرعه، جدول (۶) نشان داده می‌شود که R^2 برابر ۰/۷۱، جذر میانگین مربعات خطا RMSE برابر ۲/۱۲ درصد، جزر میانگین مربعات خطا نرمال شده NRMSE برابر ۰/۰۸، شاخص سازگاری (d) برابر ۰/۸۸ و ضریب باقیمانده (CRM) برابر ۰/۰۳۵- بدست آمد، علامت منفی نشان می‌دهد رطوبت شبیه‌سازی‌شده با مدل AquaCrop از رطوبت اندازه‌گیری شده در مزرعه بیشتر برآورد شده است و با توجه به کوچک بودن ضریب باقیمانده می‌توان از بیش‌برآورد رطوبت خاک در این پژوهش چشم پوشی شود. نتایج تحقیق حاضر نیز با نتایج مطالعات (Andarzian et al., 2011) که مدل AquaCrop برای شبیه‌سازی رطوبت نیم‌رخ خاک نشان داد که مدل توانسته است رطوبت ناحیه توسعه ریشه را با دقت مناسب شبیه‌سازی نماید، به‌طوری‌که مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE)، R^2 و شاخص سازگاری (d) برای شرایط آبیاری کامل به ترتیب ۳/۵ درصد، ۰/۸۶ و ۰/۸۴ و برای شرایط کم آبیاری به ترتیب ۴ درصد، ۰/۹۵ و ۰/۹۳ به دست آمد مشابه است.

نتایج حاصل از شبیه‌سازی دور آبیاری نیشکر با شرایط واقعی مزرعه نشان داد، مدل در برآورد دور آبیاری از دقت بالایی برخوردار است به طوریکه شاخص‌های آماری تعیین دقت مدل در دور آبیاری، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برابر ۱/۵ و جزر میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) برابر ۱/۴۴ بدست آمد. یکی از دلایل بالا بودن دقت مدل AquaCrop در برآورد زمان آبیاری مزرعه، تفکیک تبخیر و تعرق (ET_c) به دو بخش تبخیر از سطح خاک (E) و تعرق گیاه (T) است همچنین استفاده از شاخص سطح سایه انداز (CC) به جای شاخص سطح برگ (LAI) است. گیاه نیشکر به دلیل گسترش و بسته شدن کانوپی (سایبان) بر جویچه‌های آبیاری و سطح خاک، باعث کاهش تبخیر از سطح خاک می‌شود، در این راستا مدل می‌تواند با دقت بالا دور آبیاری را شبیه‌سازی نماید. رطوبت نسبی هوا بر فاصله دور آبیاری تأثیر بسازی دارد، به طوری که با افزایش رطوبت نسبی هوا فاصله دور آبیاری گیاه نیشکر افزایش می‌یابد. در شکل (۳) ارتباط بین شبیه‌سازی تبخیر و تعرق واقعی (ET_c) توسط مدل AquaCrop و ارتباط آن با رطوبت نسبی هوا، به خوبی این تأثیر نشان داده شده است و مدل توانسته است تبخیر و تعرق روزانه را با دقت مناسب پیش‌بینی و شبیه‌سازی نماید.

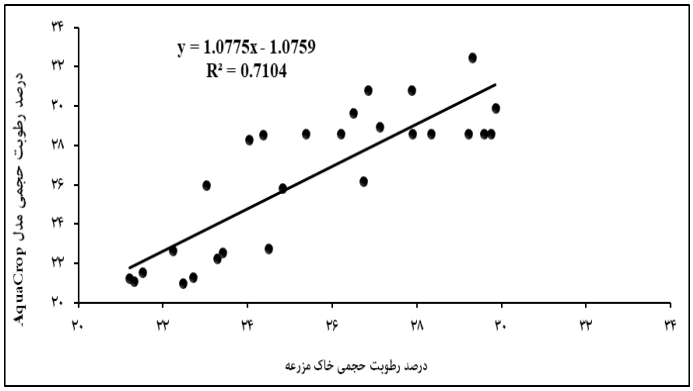
دلیل این فرآیند، با افزایش رطوبت نسبی، کمبود فشار بخار آب در هوا (VPD) کاهش یافته و شیب فشار بخار آب (VPG) که موجب حرکت آب از روزنه‌ها به سمت هوای مجاور می‌شود نیز کاهش خواهد یافت. با کم شدن شیب فشار بخار آب که نیروی محرکه عمل تعرق می‌باشد، شدت جریان تعرق و خروج بخار آب از روزنه‌ها کاهش یافته و منجر به افزایش درجه حرارت برگ نسبت به هوای مجاور خواهد شد (Idso et al., 1982).

جدول ۵- رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری شده و رطوبت حجمی شبیه‌سازی شده مدل AquaCrop

تاریخ	رطوبت حجمی خاک اندازه‌گیری شده (cm)			رطوبت خاک حجمی AquaCrop (cm)			RMSE %		
	۳۰-۰	۶۰-۳۰	۹۰-۶۰	۳۰-۰	۶۰-۳۰	۹۰-۶۰	۳۰-۰	۶۰-۳۰	۹۰-۶۰
۱۳۹۶/۱/۱۶	۲۰/۵۸	۲۶/۷۶	۳۱/۰۴	۲۴/۰۰	۳۴/۴۰	۳۲/۴۸	۳/۴۱	۷/۶۳	۱/۴۴
۱۳۹۶/۱/۲۷	۲۱/۳۰	۲۶/۸۳	۲۹/۷۵	۲۱/۱۰	۳۰/۸۳	۳۰/۱۲	۰/۲۱	۴/۰۰	۰/۳۷
۱۳۹۶/۲/۹	۲۲/۷۱	۲۴/۰۴	۲۶/۲۰	۲۱/۳۰	۲۸/۳۰	۲۷/۲۰	۱/۴۲	۴/۲۶	۱/۰۰
۱۳۹۶/۲/۱۹	۲۶/۳۵	۲۹/۸۵	۲۵/۳۸	۲۴/۹۳	۲۹/۹۰	۲۵/۲۶	۱/۴۲	۰/۰۴	۰/۱۲
۱۳۹۶/۲/۲۸	۲۲/۴۷	۲۷/۸۸	۲۹/۲۸	۲۰/۹۷	۳۰/۸۰	۲۸/۲۵	۱/۵۱	۲/۹۲	۱/۳۴
۱۳۹۶/۳/۸	۲۱/۵۱	۲۳/۰۷	۲۷/۹۰	۲۱/۵۳	۲۸/۵۷	۲۸/۳۰	۰/۰۲	۵/۵۰	۰/۴۰
۱۳۹۶/۳/۱۶	۲۱/۲۱	۲۴/۳۶	۲۸/۳۴	۲۱/۲۷	۲۸/۵۳	۳۲/۸۵	۰/۰۶	۴/۱۷	۴/۵۱
۱۳۹۶/۳/۲۵	۲۴/۹۶	۲۷/۱۱	۲۹/۲۱	۲۱/۷۰	۲۸/۹۳	۳۰/۶۰	۳/۲۷	۱/۸۱	۱/۳۹
۱۳۹۶/۴/۱۸	۲۴/۵۰	۲۶/۴۹	۲۹/۳۰	۲۲/۷۳	۲۹/۶۷	۳۲/۴۵	۱/۷۷	۳/۱۸	۳/۱۵
۱۳۹۶/۴/۲۷	۲۳/۲۸	۲۶/۷۴	۲۷/۹۳	۲۲/۲۷	۲۶/۱۷	۳۲/۵۸	۱/۰۲	۰/۵۷	۴/۶۵
۱۳۹۶/۵/۳۱	۲۲/۲۳	۲۳/۰۳	۲۶/۲۲	۲۲/۶۳	۲۵/۹۷	۳۲/۶۰	۰/۴۰	۲/۹۴	۶/۳۸
۱۳۹۶/۶/۱۴	۲۳/۴۰	۲۴/۸۳	۳۰/۴۹	۲۲/۵۳	۲۵/۸۳	۳۲/۳۵	۰/۸۷	۱/۰۰	۱/۸۶



شکل ۳- تأثیر رطوبت نسبی هوا بر تبخیر و تعرق واقعی گیاه نیشکر توسط مدل AquaCrop



شکل ٤- رابطه رگرسیونی بین درصد رطوبت حجمی اندازه‌گیری شده در مزرعه و شبیه‌سازی مدل AquaCrop

جدول ٦- شاخص‌های آماری تعیین دقت مدل در شبیه‌سازی رطوبت حجمی خاک

	R^2	RMSE%	NRMSE	CRM	d
پیش‌بینی‌رطوبت خاک با مدل	ضریب تعیین	جزر میانگین مربعات خطا	جزر میانگین مربعات خطا نرمال شده	ضریب باقیمانده	شاخص سازگاری
	۰/۷۱	۲/۱۲	۰/۰۸	−۰/۰۳۵	۰/۸۸

نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری مزرعه مورد پژوهش، با مجموع دور آبیاری ۱۷ دور در مزرعه اشاره شده انجام گردید، این تعداد دور آبیاری با تعداد دور آبیاری مزارع شاهد با شرایط یکسان مقایسه شد، این مزرعه تعداد ۴ دور آبیاری به طور میانگین معادل ۴۸۰۰ مترمکعب در هر هکتار در آن سال نسبت به مزارع شاهد صرفه‌جویی شد. همچنین میزان عملکرد محصول این مزرعه ۱۲۸ تن در هکتار و متوسط عملکرد مزارع شاهد برابر۱۰۳/۶۰ تن در هکتار بدست آمد. برنامه‌ریزی آبیاری گیاه نیشکر با استفاده از مدل AquaCrop، می‌توان اظهار داشت که این مدل از دقت بالایی در شبیه‌سازی برنامه‌ریزی آبیاری برخوردار است. تحلیل حساسیت پارامترهای گیاهی برای این مدل اهمیت بسیاری دارد. در این پژوهش حساسیت مدل AquaCrop نسبت به تغییر پارمترهای گیاهی و هواشناسی بررسی شد. حساسیت مدل AquaCrop به تغییرات پارمترهای گیاهی، شامل: دوره رشد گیاه (Canopy development)، CGC، عمق ریشه، ضریب تعرق ($Kc_{Tr,x}$)، درصد جذب آب توسط ریشه (Water extraction pattern) و ضریب تنش‌های آبی (غرقاب و خشکی) و شوری بسیار زیاد است و تخمین این پارامترها (با توجه به وضعیت مزرعه) برای واسنجی این مدل در شبیه‌سازی دور آبیاری بسیار ضروری است. همچنین حساسیت اطلاعات هواشناسی در برآورد دور آبیاری نیشکر، درصد رطوبت نسبی هوا اهمیت بسیاری دارد به طوری که به ازای افزایش ۵ درصد رطوبت نسبی، تبخیر و تعرق مرجع ۱/۹۱ درصد کاهشی می‌شود، در نتیجه فاصله دور آبیاری بیشتر می‌شود. شاخص‌های آماری دقت مدل

در شبیه‌سازی رطوبت خاک در عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر، RMSE برابر ۱/۶۷ درصد و NRMSE برابر ۷/۳۳ درصد، رطوبت خاک در عمق ۳۰ تا ۶۰ سانتی‌متر، RMSE برابر ۳/۷۸ درصد و NRMSE برابر ۱۴/۵۹ درصد، رطوبت خاک در عمق ۶۰ تا ۹۰ سانتی‌متر، RMSE برابر ۲/۹۳ درصد و NRMSE برابر ۱۰/۳۰ درصد بدست آمد. توجه به این نکته در سایر تحقیقات نیز حائز اهمیت بسیار است، که در هر منطقه، با توجه به تأثیرات اقلیم بر رشد و نمو محصول، اطلاعات گیاهی مطابق با رقم گیاه و اقلیم مورد نظر ساخته شود. به‌طور کلی، با توجه به این که مدل AquaCrop از دقت بالایی در برنامه‌ریزی آبیاری برخوردار است، استفاده از این روش در برنامه‌ریزی آبیاری مزارع نیشکر نسبت به روش مرسوم کنترل محصول که در شرکت‌های هفت‌گانه طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی رایج است، می‌توان از این مدل استفاده شود، که هم از لحاظ نیروی انسانی، صرف وقت و هزینه مقرون به صرفه‌تر می‌باشد.

منابع

انصاری، ح.، سالاریان، م.، تکرلی، ع.، بایرام، م. ۱۳۹۳. تعیین عمق بهینه آبیاری برای محصول گندم و گوجه فرنگی به‌کمک مدل Aquacrop (مطالعه موردی مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۸ (۱): ۹۵-۸۶.

بابازاده، ح. و سرائی، تبریزی، م. ۱۳۹۱. ارزیابی مدل AquaCrop تحت شرایط مدیریت کم آبیاری سویا. نشریه آب و خاک. ۲۶ (۲): ۳۳۹-۳۲۹.

جوزی، مهدی. قربانی، زهرا. قدمی فیروزآبادی، علی. سپهری، نبی الله. و زارع ابیانه، حمید. ۱۳۹۹. ارزیابی مدل AquaCrop تحت مدیریت کم‌آبیاری کلون‌های جدید سیب‌زمینی در همدان، نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴ (۱): ۲۴۰-۲۳۰.

قوچانیان، م.، انصاری، ح. و فشائی، م. ۱۳۹۸. ارتقای بهره وری مصرف آب در محصول گندم تحت سناریوهای آبیاری مختلف با استفاده از مدل Aquacrop (مطالعه موردی مشهد). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۳ (۳): ۶۶۶-۶۵۷.

Abedinzadeh, M., Bakhshandeh, A., Andarziyan, B. and Jafari, S. 2021. Optimization and Management of Water Consumption in Sugarcane Using the AquaCrop Simulation Model (Case Study: Amirkabir Industrial Cultivation, Khuzestan). JWSS-Isfahan University of Technology. 25(3): 95-114.

Andarzian, ., Bannayan, M., Steduto, P., Mazraeh, H., Barati, M. E., Barati, M. A. and Rahnama, A. 2011. Validation and testing of the AquaCrop model under full and deficit irrigated wheat production in Iran. Agricultural Water Management. 100(1): 1-8.

Bahmani, O. and Eghbalian, S. 2018. Simulating the response of sugarcane production to water deficit irrigation using the AquaCrop model. Agricultural research. 7(2): 158-166.

Doorenbos, J. and Kassam, A. H. 1979. Yield response to water. Irrigation and drainage paper. (33): 257.

Farahani, H. J., Izzi, G. and Oweis, T. Y. 2009. Parameterization and evaluation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cotton. Agronomy journal. 101(3): 469-476.

McCuen, R. H. 1973. The role of sensitivity analysis in hydrologic modeling. Journal of Hydrology. 18(1): 37-53.

Mawardhi, A. D. 2022. Smulating water balance and crop yield for sugarcane plantation in pasuruan using aquacrop model. *OISAA* Journal of Indonesia Emas. 5(2): 120-127.

Hussein, F., Janat, M. and Yakoub, A. 2011. Simulating cotton yield response to deficit irrigation with the FAO AquaCrop model. Spanish Journal of Agricultural Research. (4): 1319-1330.

Liu, J., Pattey, E. and Admiral, S. 2013. Assessment of in situ crop LAI measurement using unidirectional view digital photography. Agricultural and Forest Meteorology. 169: 25-34.

Idso, S.B. 1982. Non-Water Stressed Baselines: A Kay to Measuring and Interpreting Plant Water Stress. Agricultural Meteorology. 27:59-70.

Sandhu, R. and Irmak, S. 2019. Performance of AquaCrop model in simulating maize growth, yield, and evapotranspiration under rainfed, limited and full irrigation. Agricultural Water Management. 223: 105687.

Zeleke, K. T., Luckett, D. and Cowley, R. 2011. Calibration and testing of the FAO AquaCrop model for canola. Agronomy Journal. 103(6): 1610-1618.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No.6, Vol. 16, Feb.-Mar. 2023, p. 1245-1254

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۶، جلد ۱۶، بهمن - اسفند ۱۴۰۱، ص. ۱۲۵۴-۱۲۴۵

Planning of Sugarcane Irrigation and Soil Moisture Distribution Using AquaCrop Model

J. Mohammadi Moalezadeh[1*] A. Naseri[2], A. Houshmand[3]
Recived: Aug.27, 2022 Accepted: Oct.17, 2022

Abstract

Limitation of water resources, lack of irrigation planning and undesirable use of water are the main factors limiting agricultural development and increasing food production in Iran. Plant and mathematical models are suitable tools for improving irrigation management, crop increase and irrigation efficiency to simulate soil moisture estimation and plant irrigation planning. This study was conducted in 2017 with the aim of investigating the ability of AquaCrop model to irrigate and estimate soil moisture in sugarcane cultivation lands located in the south of Khuzestan province. The results of soil moisture simulation and irrigation planning were compared with the values measured in the field by AquaCrop model. Overall, the results showed that the accuracy of the model in estimating irrigation planning is more than the soil moisture estimation. The accuracy of the model was somewhat higher in estimating soil moisture with the measured values at the farm level. So that the mean square tide of error (RMSE), tide mean squares of normalized error (NRMSE), coefficient of determination (R^2), compatibility index (d) and residual coefficient (CRM) were 2.12%, 0.08, 0.71, 0.88 and -0.035, respectively. Also, the results of simulation of sugarcane irrigation round in the field showed that four irrigation rounds, which on average were 4800 cubic meters per hectare, were saved compared to the control farms. The yield of this field was 128 tons per hectare and the average yield of control farms was 103.60 tons per hectare. The results showed that AquaCrop model can be used as a suitable method for planning and irrigation management of sugarcane cultivation lands.

Keywords: AquaCrop, Irrigation Management, Irrigation Planning, Soil Moisture

1- M.Sc. in Irrigation and Expert in Khuzestan Sugarcane Research and Development Institute, Khuzestan, Iran
2- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3- Associate Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: jamalmohammadi611@gmail.com)