نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۴۵۰-۱۴۳۹

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1439-1450

بررسی کارایی مدل AquaCrop در تعیین زمان آبیاری گیاه نیشکر و پایش آن با CWSI

جمال محمدی معله‌زاده[۱*]، عبدعلی ناصری[۲] و عبدالرحیم هوشمند[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲

چکیده

کمبود آب یکی از فاکتورهای مهم و تأثیرگذار در تولید محصولات کشاورزی تلقی می‌گردد. استفاده از مدل‌های مدیریت زراعی همچون مدل AquaCrop می‌تواند ابزاری مفید برای بررسی راه‌کارها و امکان بررسی آن‌ها در شرایط مختلف باشد. این تحقیق به‌منظور بررسی کارایی مدل AquaCrop در تعیین زمان آبیاری گیاه نیشکر و پایش آن با شاخص تنش آبی گیاه در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در اراضی کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی در مزرعه R۷-۱۱ با مساحت ۲۵ هکتار و پلنت (کشت جدید) واریته CP۶۹-۱۰۶۲ در جنوب اهواز انجام شد. واسنجی لازم برای تعیین دقت مدل در زمان آبیاری گیاه نیشکر شامل بررسی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) با دماسنج مادن قرمز انجام شد. این واسنجی نشان داد، مدل AquaCrop در تعیین زمان آبیاری گیاه نیشکر از قدرت شبیه‌سازی نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشد. تحلیل آماری دقت مدل در پیش‌بینی زمان آبیاری مزرعه با شرایط واقعی مزرعه برابر RMSE= ۲/۰ روز، d= ۱/۰ و CRM= ۰/۰۰۶ به دست آمد. برنامه‌ریزی آبیاری مزرعه R۷-۱۱ با مدل AquaCrop با مجموع دور آبیاری اعمال شده در مزرعه ۱۶/۶ دور (از فروردین تا مهرماه ۹۶) انجام شد، این تعداد دور آبیاری با تعداد دور آبیاری مزارع پلنت واریته CP۶۹-۱۰۶۲ کشت و صنعت دعبل خزاعی که به طور میانگین با مجموع دور آبیاری اعمال شده در مزارع ۲۰/۸ دور بود مقایسه شد، مشاهده می‌شود مزرعه R۷-۱۱ تعداد ۴/۲ دور آبیاری در آن سال صرفه‌جویی شده است. میزان عملکرد محصول این مزرعه ۱۲۸ تن در هکتار و متوسط عملکرد مزارع پلنت واریته CP۶۹-۱۰۶۲ کشت و صنعت دعبل خزاعی برابر ۱۰۳/۶۰ تن در هکتار بدست آمد. کیفیت شربت نیشکر مزرعه R۷-۱۱ شامل درصد خلوص (PTY%) و درصد استحصال شکر سفید (R.S%) برابر PTY= ٪ ۹۰ و R.S=٪ ۱۱/۱ و میانگین مزارع پلنت واریته CP۶۹-۱۰۶۲ کشت و صنعت دعبل خزاعی برابر PTY= ٪ ۸۸/۶ و R.S=٪ ۱۰/۸ بدست آمد. نتایج این تحقیق نشان داد، با توجه به این که مدل AquaCrop از دقت بالایی برخوردار است، استفاده از این روش برای تعیین زمان آبیاری نسبت به روش فعلی (کراپ لاگ) که در شرکت‌های توسعه نیشکر خوزستان رایج است، هم از لحاظ هزینه و هم از لحاظ استفاده از آن در طرح‌های تحقیقاتی توصیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: زمان آبیاری، شاخص تنش رطوبتی، دمای پوشش گیاهی، نیشکر، AquaCrop

مقدمه

تعیین میزان آب موردنیاز گیاه، برنامه‌ریزی آبیاری به‌منظور تأمین حداکثر رشد و کسب حداکثر محصول، مهم‌ترین مرحله‌ی مطالعاتی در یک طرح آبیاری و زهکشی را تشکیل می‌دهد. راسو و باکر مدیریت مصرف آب در بخش کشاورزی بدون توجه به روابط آب، خاک و گیاه امری غیرممکن است. به دلیل اینکه آزمایش‌های مزرعه‌ای نیازمند صرف وقت، هزینه و انرژی بوده و همچنین به دلیل محدودیت این آزمایش‌ها به شرایط فیزیکی مزرعه، کوتاه بودن مدت آزمایش و نیز محدودیت در تعداد سناریوهایی که توسط آزمایش بررسی می‌شوند، استفاده از مدل‌ها و نرم‌افزارها در روابط آب‌وخاک توسعه‌یافته است (Russo et al., 1986). مدل AquaCrop برنامه‌ریزی آبیاری و شبیه‌سازی تأثیر تنش‌های محیطی و تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد. مدل‌های زیادی موجود است که تقاضای آبی گیاه در مزرعه را بر اساس سیستم گیاه، خاک و اقلیم برآورد می‌نماید. اما این مدل عملکرد اقتصادی و ماده خشک محصولات مختلف را شبیه‌سازی می‌نماید. در این مدل، نمو پوشش گیاهی، هدایت روزنه‌ای، پیری کانوپی و شاخص برداشت پاسخ‌های اصلی فیزیولوژیکی گیاه به تنش آبی محسوب می‌شوند. تبخیر- تعرق به‌صورت تعرق گیاه و تبخیر از سطح خاک شبیه‌سازی می‌گردد. در این مدل به‌منظور محاسبه تعرق و تفکیک تبخیر از سطح خاک با

۱- کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز و کارشناس ممیزی و پایش عملکرد کشاورزی مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان
۲- استاد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز
(* - نویسنده مسئول: Email: jamalmohammadi611@gmail.com)

تعرق، به‌جای استفاده از شاخص سطح برگ از پوشش تاجی که سطح زمین را می‌پوشاند، استفاده می‌شود. شناخت تغییرات رطوبتی خاک، تبخیر و تعرق و دیگر پارامترهای گیاهی و رشد، از قابلیت‌ها و توانمندی‌های برخی مدل‌ها است، لذا از مدل AquaCrop برای بررسی و تأثیر گزاره‌های مختلف آبیاری (زمان و میزان) و تأثیر آن بر روند تولید استفاده می‌شود. تاکنون تحقیقات وسیعی در ارزیابی این مدل صورت گرفته است. پاتل و همکاران به بررسی قابلیت مدل AquaCrop در شبیه‌سازی محصول پنبه، تحت سناریوهای های آبی متفاوت پرداختند. نتایج این طرح نشان داد که این برنامه از قابلیت بالایی در شبیه‌سازی شاخص‌های محصول، تحت شرایط آبیاری کامل و سناریوهای مختلف کم آبیاری، برخوردار می‌باشد. همچنین دقت مدل، تحت تنش‌های شدید آبی کاهش می‌یابد (Patel et al., 2008) گارسیاویلا و همکاران با استفاده از مدل AquaCrop به بهینه‌سازی عمق آبیاری و بررسی واکنش محصول در سناریوهای های مختلف کم آبیاری در کشت پنبه در شمال اسپانیا پرداختند. نهایتاً، با استفاده از این شبیه‌سازی و روش‌های بهینه‌سازی اقتصادی، آبیاری در محدوده (mm) ۷۴۰-۵۴۰ به‌عنوان عمق بهینه پیشنهاد و شبیه‌سازی AquaCrop به‌عنوان ابزاری مناسب در ارزیابی مدیریت آبیاری معرفی شد (Garcia-Vila et al., 2008). فراهانی و همکاران به واسنجی مدل AquaCrop، سپس آزمایش آن تحت تیمارهای آبیاری کامل، ۶۰، ۴۰ و ۸۰ درصد آبیاری کامل برای پنبه در سوریه پرداختند. نتایج این طرح میزان خطای حداکثر ۱۰ درصد را بین مقادیر شبیه‌سازی شده و واقعی در حالت‌های آبیاری کامل و ۴۰ درصد نشان داد، اما در ۶۰ و ۸۰ درصد آبیاری کامل، میزان خطا تا حدود ۳۲ درصد افزایش یافت (Farahani et al., 2008). تودوریک و همکاران به مقایسه‌ی سه مدل CropSyst، AquaCrop و WOFOST در شبیه‌سازی رشد و توسعه آفتابگردان تحت سناریوهای های آبی متفاوت در جنوب ایتالیا پرداختند. نتایج این طرح، تفاوت قابل‌توجهی را بین نتایج شبیه‌سازی این سه مدل نشان داد. نهایتاً مدل به دلیل اطلاعات ورودی کمتر، در AquaCrop شرایطی که اطلاعات نابسنده ای در دسترس می‌باشند، توصیه شد (Todorovic et al., 2009). پالتینوآنو و همکاران برای درخت هلو در کشور رومانی رابطه شاخص تنش آبی (CWSI)[1] با رطوبت خاک ناحیه توسعه ریشه را موردبررسی قراردادند و یک رابطه خطی و معکوس بین این دو پارامتر تعیین کردند. همچنین مقدار شاخص تنش آبی (CWSI) ۰/۱۸ تا ۰/۲ را جهت برنامه‌ریزی آبیاری در خاک‌های با بافت سبک در آن منطقه پیشنهاد کرد (Paltineanu et al., 2013). کرتیس رابطه تعرق و درجه حرارت برگ‌ها را موردبررسی قرارداد. وی اظهار داشت که با کم شدن درجه حرارت برگ نسبت به هوا نیاز به تعرق در روزهای گرم و آفتابی بالا می‌رود (Curtis., 1938). بعد از او نیز پژوهشگران زیادی نشان دادند که در شرایط وجود آب کافی و در روزهای گرم و آفتابی، مقدار درجه حرارت گیاهان کمتر از درجه حرارت هوا می‌باشد که از جمله آن‌ها می‌توان Asari et al., 1959 اشاره کرد (طاهری قناد، ۱۳۸۱). ویگاند و نامکن درجه حرارت برگ‌های کتان را با استفاده از دماسنج مادون‌قرمز موردبررسی قراردادند. آن‌ها مشاهده کردند که درجه حرارت برگ‌های این گیاه به‌صورت خطی با کاهش آماس برگ‌ها افزایش می‌یابد (Wiegand et al., 1966). هالیمورتا و همکاران، اندازه‌گیری توسط دماسنج مادون‌قرمز یک روش غیرمستقیم (بدون تماس) برای برآورد میزان درجه حرارت سطح مورد هدف می‌باشد. لذا اصولاً در هنگام اندازه‌گیری، دستگاه با سطح موردنظر تماسی نداشته و درجه حرارت نشان داده‌شده مربوط به قسمتی از سطح است که در معرض دید دستگاه قرار دارد (Halim Orta et al., 2003). ارلر مستقیماً به امکان استفاده از تفاوت دمای پوشش سبز گیاه و هوای مجاور (Tc-Ta) به‌عنوان راهنمایی برای برنامه‌ریزی آبیاری اشاره کرد. در مزرعه آزمایشی کتان، او ترموکوپل‌هایی را بر روی گیاه‌ها قرارداد و درجه حرارت هوا و فشار بخار هوا را نیز در یک متر بالاتر از سطح سایه‌انداز گیاه اندازه‌گیری کرد. نتایج او نشان داد که (Tc-Ta) بسته به میزان کمبود فشار بخار در محدوده ۳- تا ۲+ قرارداد. نتایج معنی‌دار این مطالعه، رابطه خطی بین (Tc-Ta) و کمبود فشار بخار را تأیید کرد (Ehrler., 1973). گلابی و ناصری (۱۳۹۴) به ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد نیشکر و شوری پروفیل خاک تحت تنش شوری در خوزستان پرداختند. نتایج این طرح نشان داد که مدل در شبیه‌سازی میزان محصول و شوری خاک بر اساس شاخص‌های آماری دقت مناسبی برآورد کرده است.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل AquaCrop: مدل AquaCrop با توجه به معادله دورنباس و کاسام و 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. در مدل AquaCrop سیستم گیاه زراعی از پنج قسمت اصلی (فنولوژی، پوشش سبز گیاه، عمق ریشه دهی، ماده خشک تولیدشده و عملکرد قابل برداشت) 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 (Doorenbos et al., 1979).

$$AGB = WP \times TC/ETo \quad (۱)$$

که در این رابطه AGB، نرخ رشد ماده خشک روی سطح زمین

1- Crop water steres

($kg\ m^{-3}$) WP، بهره‌وری ($mm\ day^{-1}$) TC تعرق گیاه و ET_0 ($mm\ day^{-1}$) تبخیر و تعرق مرجع هستند. محاسبه تبخیر- تعرق در این مدل، بر اساس روش ضریب گیاهی دوگانه می‌باشد. ضریب گیاهی در روش دوگانه به دو ضریب جداگانه، که یکی اثر تعرق گیاه را توصیف کرده و ضریب گیاهی پایه Kcb نامیده شده و دیگری اثر تبخیر از خاک (Ke) را بیان می‌کند به شکل زیر تفکیک شده است.

$$ETa= (Kcb+Ke)*ET_0 \quad (۲)$$

بر این اساس، مدل AquaCrop مقدار تبخیر- تعرق واقعی روزانه ($mm\ day^{-1}$)، ETa را با تفکیک آن به تبخیر از سطح خاک ($mm\ day^{-1}$) و تعرق گیاه Tr (mm/day) محاسبه می‌نماید.

کلیات طرح: برای اجرای این پژوهش مزرعه شماره R7-۱۱ به مساحت ۲۵ هکتار و سن پلنت (تازه کشت)، واریته CP۶۹-۱۰۶۲ در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ در کشت و صنعت دعبل خزاعی در اراضی شرق رودخانه کارون و در ۴۵ کیلومتری جنوب شرق جاده اهواز- آبادان انتخاب شد. طول فاروها (m) ۲۵۰ و فاصله آن‌ها به‌طور میانگین (m) ۱/۸۳ بود. شکل (۱) نمایی از مزرعه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

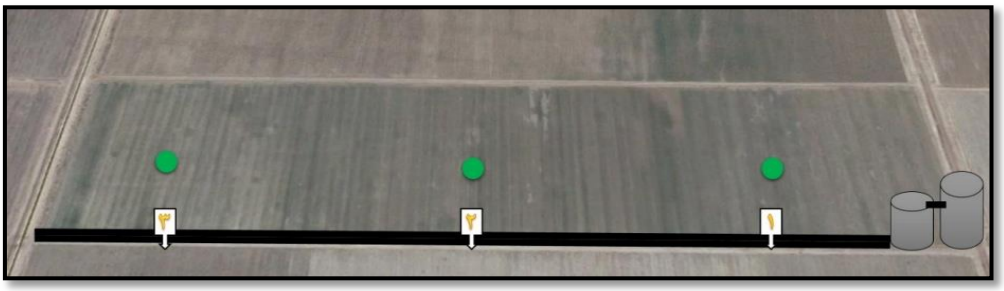
شکل ۱- نمایی از مزرعه مورد مطالعه

مشخصات خاک مزرعه آزمایشی: به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک مزرعه جهت ورود اطلاعات اولیه مدل AquaCrop در اواخر اسفندماه ۱۳۹۵ از سه نقطه در سطح مزرعه ۲۵ هکتار و در دو عمق ۳۰-۰ و ۶۰-۳۰ سانتی‌متر نمونه خاک برداشته شد، نمونه‌ها به آزمایشگاه آب و خاک مؤسسه تحقیقات توسعه نیشکر منتقل و بافت خاک و هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک اندازه گیری شد. این اندازه‌گیری‌ها در جدول ۱ همچنین موقعیت سه ایستگاه در سطح مزرعه در شکل (۲) آمده است.

لازم به توضیح است که جرم مخصوص ظاهری این مزرعه قبلاً توسط مطالعات کاربردی آن کشت و صنعت اندازه‌گیری شده بود و جرم مخصوص ظاهری این مزرعه($g\ cm^{-3}$) ۱/۴ است، ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی برای اکثر بافت‌ها به‌عنوان پیش فرض در مدل وجود دارد که برای بافت لوم رسی به ترتیب ۳۴/۰ و ۲۳/۰ درصد حجمی بوده است و برای این طرح استفاده شد.

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

اطلاعات و فراسنج‌های گیاهی: اطلاعات مربوط به گیاه نیشکر پلنت واریته CP۶۹-۱۰۶۲، اعم از طول دوره رشد، تقویم کشت، مشخصه‌های شاخص برداشت، سرمازدگی، تنش آبی، عمق توسعه ریشه، تراکم گیاهی، کنترل روزنه‌ها، ضریب تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب در فهرست مربوطه تعریف می‌شود.



شکل ۲- موقعیت سه نقطه در سطح مزرعه R7-۱۱

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شوری خاک مزرعه R۷-۱۱

شماره ایستگاه	عمق (cm)	هدایت الکتریکی عصاره اشباع خاک ($dS\ m^{-1}$)	بافت خاک	جرم مخصوص ظاهری (g cm^{-3})	ظرفیت زراعی (% θ_v)	نقطه پژمردگی (% θ_v)
				میانگین در سطح مزرعه		
۱	۰-۳۰	۲/۱	لوم رسی	۱/۴	۳۴/۰	۲۳/۰
	۳۰-۶۰	۲/۳	لوم رسی			
۲	۰-۳۰	۱/۶	رسی سیلتی			
	۳۰-۶۰	۱/۹	رسی سیلتی			
۳	۰-۳۰	۱/۵	لوم رسی			
	۳۰-۶۰	۱/۵	لوم رسی			

فراسنج‌ها و اطلاعات گیاهی: اطلاعات مربوط به گیاه نیشکر پلنت واریته CP۶۹-۱۰۶۲، اعم از طول دوره رشد، تقویم کشت، مشخصه‌های شاخص برداشت، سرمازدگی، تنش آبی، عمق توسعه ریشه، تراکم گیاهی، کنترل روزنه‌ها، ضریب تعرق گیاهی و کارایی مصرف آب در فهرست مربوطه 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 تفاوت ارقام مختلف یک واریته گیاهی، مقادیر این فراسنج‌ها ضمن آزمایش‌های صحرایی، مورد بررسی قرارگرفته و در صورت لزوم اصلاحات اعمال شود. در این طرح آزمایش‌های صحرایی بررسی گردید و فراسنج‌های گیاهی در مدل واسنجی شد. نحوه واسنجی ابتدا تاریخ کشت مزرعه وارد مدل می‌شود (هر مزرعه دارای یک تاریخ کشت متفاوت است) همچنین دوره کامل رشد گیاه بر حسب روز از زمان کاشت تا برداشت که بیش از یک سال به طول می‌انجامد وارد مدل می‌شود، این تعداد روزها با توجه به تجربه کاربر و یا کارشناس مربوط به کشت و صنعت نیشکر و شناخت از مزرعه برآورد می‌شود، که این دوره کامل رشد گیاه بر ضریب رشد کانوپی CGC تأثیر گذاشته و بر اساس شرایط مزرعه مورد نظر واسنجی می‌شود. سپس تراکم بوته در هر هکتار با اندازه‌گیری تعداد پنجه در مزرعه توسط یک پلات ۱ در ۱/۸۳ متری پنجه شماری می‌شود و تعداد ساقه نیشکر در هر هکتار (Plant ha) مشخص می‌شود، این اندازه‌گیری بر ضریب پوشش کانوپی اولیه در زمان ۹۰ درصد سبز شدن CC۰ مدل تأثیر گذاشته و واسنجی می‌شود. عمق توسعه ریشه گیاه بر اساس شرایط مزرعه و لایه‌های محدود کننده، عمق توسعه ریشه برآورد می‌شود. با توجه به سطح ایستابی منطقه معمولاً یک متر در نظر گرفته می‌شود. دمای پایه (T base) و دمای بالا (T upper) مربوط به واسنجی تنش دما در مدل است، گیاه نیشکر در اثر سرمازدگی به ارتفاع، قطر، وزن ساقه اثرات منفی می گذارد و در نهایت موجب کاهش عملکرد می‌گردد، 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 حجمی اشباع خاک (P lower) و درصد 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 CP۶۹-۱۰۶۲، پس از اعمال اصلاحات در مدل AquaCrop در جدول (۲) آمده است.

اطلاعات هواشناسی: اطلاعات آماری ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت دعبل خزاعی از سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ شامل حداکثر و حداقل دما، میانگین رطوبت نسبی، ساعات آفتابی و سرعت باد به صورت روزانه تهیه شده و برای تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0) با استفاده از نرم‌افزار ET_0Calculator که روش پنمن-مانتیث فائو را مبنای محاسبات نیاز آبی خود قرار داده است بدست آمد. 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. مقادیر فراسنج‌های خاک برای اکثر بافت‌ها به‌عنوان پیش فرض در مدل وجود دارد.

جدول ۲_ پارامترهای گیاهی به کار رفته در مدل AquaCrop

پارامتر گیاهی	مقدار	واحد	روش تعیین
تاریخ کشت	۲ شهریور ۹۵	تاریخ	واسنجی
دوره رشد گیاه	۴۴۴	روز	واسنجی
تراکم بوته در هکتار	۱۳۰۰۰۰	Plant ha^{-1}	واسنجی
عمق ریشه	۱۰۰	cm	واسنجی
دمای پایه	۱۲	$_{o}C$	واسنجی
دمای بالا	۳۲	$_{o}C$	واسنجی
پوشش کانوپی اولیه در زمان تکمیل ۹۰ ٪ سبز شدن CC0	۶/۵	cm^2	واسنجی
ضریب رشد کانوپی CGC	۲/۵	% day^{-1}	واسنجی
حداکثر کانوپی گیاه CCx	۱۰۰	٪	واسنجی
ضریب کاهش کانوپی CDC	۹/۵	% day^{-1}	واسنجی
شاخص برداشت HI	۸۰	٪	واسنجی
بهره‌وری آب نرمال شده WP	۳۳	gr m^{-2}	واسنجی
ضریب تعرق گیاهی برای پوشش کامل KcTr,x	۱/۰۸	–	واسنجی
آستانه بالای تخلیه رطوبتی خاک برای گسترش کانوپی P upper	۰/۵۲	–	واسنجی
آستانه پایین تخلیه رطوبتی خاک برای گسترش کانوپی P lower	۰/۲۲	–	واسنجی
فاکتور شکل ضریب تنش آبی خاک برای گسترش کانوپی	۵	–	واسنجی
آستانه بالای ضریب تخلیه رطوبتی خاک برای کنترل روزنه‌ها	۰/۴۵	–	واسنجی
فاکتور شکل ضریب تنش آبی خاک برای کنترل روزنه‌ها	۵	–	واسنجی

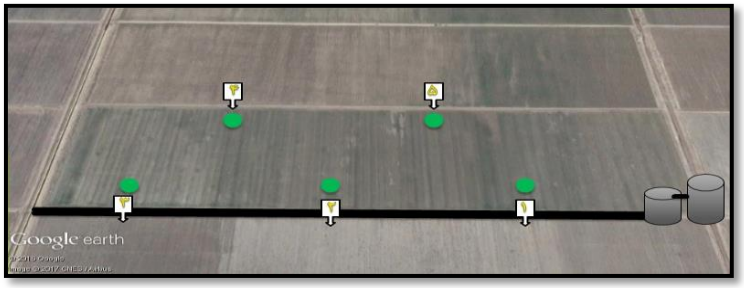
توصیه می‌شود همانند فراسنج‌های گیاهی برای افزایش دقت و کارایی شبیه‌سازی مقادیر این فراسنج‌ها ضمن آزمایش‌های صحرایی، مورد بررسی قرارگرفته و در صورت لزوم اصلاحات اعمال شود. در این پژوهش با توجه به بافت خاک اندازه گیری شده، بافت قالب خاک مزرعه لوم رسی بوده و طبق این بافت از فراسنج‌های خاک پیش فرض مدل استفاده شد. اطلاعات ورودی سطح ایستابی مدل با توجه به سابقه مزرعه نماینده در کنترل محصول (کراپ لاگ) در سال ۱۳۹۴ مقدار ۱۲۷/۹ سانتیمتر بوده است که در این پژوهش سطح ایستابی ۱/۵ متر در نظر گرفته شد و وارد مدل شد.

اطلاعات مدیریت آبیاری: آبیاری، به یکی از چهار روش شامل ۱- دیم ۲- آبیاری بر اساس عمق بهینه ریشه گیاه ۳- آبیاری مزرعه بر اساس برنامه‌ریزی زمانی ۴- برنامه‌ریزی و تعیین زمان آبیاری براساس شرایط اقلیم، حاصلخیزی خاک، تخلیه مجاز رطوبتی، ظرفیت زراعی و کیفیت آب آبیاری قابل انجام است. در این پژوهش از روش چهارم استفاده شد. سپس با وارد کردن تمام خصوصیات بالا شامل ضرایب و اطلاعات گیاهی، اطلاعات هواشناسی و تبخیر و تعرق گیاه مرجع، مدیریت آبیاری مزرعه، و اجرا کردن مدل، برنامه‌ریزی آبیاری در ماه‌های تحت داشت پیش بینی شد و در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳- پیش‌بینی زمان آبیاری گیاه نیشکر با مدل AquaCrop

ماه	تعداد دفعات آبیاری مدل	فاصله بین آبیاری مدل (روز)	تاریخ آبیاری مدل
فروردین	۱/۴	۱۳	۳۰-۱۸
اردیبهشت	۲/۴	۱۱-۱۱-۱۲	۳۰-۲۰-۱۰
خرداد	۳	۸-۱۱-۱۰	۲۵-۱۸-۸
تیر	۳/۸	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
تعداد کل دفعات آبیاری	۱۶/۶		

- مفهوم اعشار در تعداد دفعات آبیاری: به دلیل ادامه آبیاری در ماه بعدی (میانگین زمان آبیاری کل مزرعه ۲۵ هکتاری ۵ تا ۶ روز است.



شکل ۳- پنج ایستگاه کراپ لاگ (کنترل محصول)

مدیریت مزرعه و بررسی دقت مدل AquaCrop: مطالعات صحرایی و بررسی دقت مدل AquaCrop در پیش‌بینی زمان آبیاری در آن مزرعه طبق پنج ایستگاه کراپ لاگ[1] (کنترل محصول) مطابق شکل (۳) تعیین گردید و به شرح ذیل انجام شد. یکی از روش‌های ارزیابی و پایش نحوه رشد گیاه نیشکر، روش کنترل محصول (کراپ لاگینگ) است. این سیستم که در برخی مناطق نیشکر کاری جهان نیز به کار گرفته می‌شود مبتنی بر اصول فیزیولوژیکی گیاهی و گیاه شناسی نیشکر است که جهت نیل به حداکثر تولید محصول و تفسیر نارسایی‌های گیاهی و رفع کمبودهای موجود در آن طراحی شده است. یکی از فاکتورهای بسیار مؤثر بر تولید محصول نیشکر، تعیین نیازهای آبی و غذایی این گیاه به وسیله روش کراپ لاگینگ یا تجزیه گیاه است.

با توجه به اهمیت تعیین غلظت‌های بحرانی مواد غذایی، توصیه ترکیب مناسب کودی و تعیین نیاز آبی گیاه، کلمنتس (۱۹۸۰) یک سیستم جامع و کلی تحت عنوان کراپ لاگینگ یا کنترل محصول یا جدول کارنمای محصول را تهیه کرده است که در آن، رشد و توسعه گیاه از شروع تا رسیدن به مرحله برداشت ثبت می‌شود. نحوه انتخاب ایستگاه‌های اندازه‌گیری بدین ترتیب است که مطابق شکل (۳)، باکس آبیاری نقطه شروع در نظر گرفته می‌شود. با حرکت در جهت حرکت عقربه‌های ساعت، ایستگاه شماره (۱)، جویچه شماره ۹۰، در نظر گرفته می‌شود. با ادامه حرکت در همین جهت، ایستگاه‌های شماره (۲)، (۳)، (۴) و (۵) با فاصله ۱۸۰ جویچه از همدیگر، به ترتیب جویچه شماره ۲۷۰، ۴۵۰، ۶۳۰ و ۸۱۰ در نظر گرفته می‌شود.

شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو: درجه حرارت برگ وابسته به میزان تعرق گیاه می‌باشد. میزان تعرق نیز تابعی از رطوبت خاک، کمبود فشار بخار هوا و مقاومت گیاه و هوا می‌باشد.

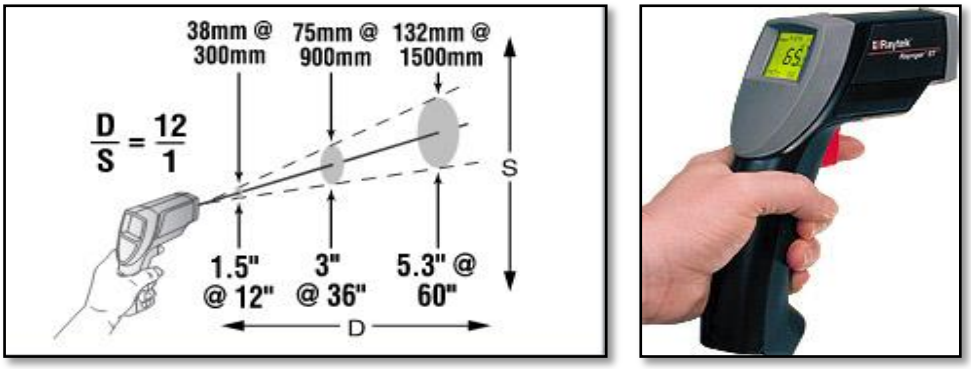
هر چه رطوبت خاک کاهش یابد، تعرق کم شده و دمای برگ بالا می‌رود. کمبود فشار بخار هوا [2] (VPD)، با افزایش میزان تعرق زیاد شده و باعث خنک شدن گیاه می‌گردد که در نتیجه اختلاف دمای پوشش سبز گیاهی و هوا زیاد می‌شود.

(Tc-Ta) شاخصی است که وضعیت آبی گیاه را به عوامل خارجی از قبیل رطوبت خاک، کمبود فشار بخار و ... ربط می‌دهد. زمانی که خاک در حد ظرفیت زراعی است در این صورت گیاه آب کافی در اختیار دارد و کل تشعشع خورشید که به سطح برگ می‌رسد، صرف تعرق شده و دمای برگ کم می‌شود. ولی اگر گیاه تحت تنش رطوبتی قرار گیرد، مقداری از تشعشع رسیده به سطح برگ صرف تعرق و بقیه صرف گرم کردن برگ و افزایش دمای آن می‌شود. بنابراین (Tc-Ta) شاخصی است که با استفاده از آن می‌توان زمان آبیاری را تعیین کرد. در این پژوهش، برای اندازه‌گیری درجه حرارت پوشش سبز گیاه از یک دستگاه دماسنج مادون‌قرمز مدل Raytek-raynger-st استفاده شد. وسعت دید دستگاه با شاخصی به نام D:S که بیانگر نسبت قطر جسم به فاصله اندازه‌گیری تا جسم است بیان می‌شود. مقدار D:S دماسنج مذکور ۱۲:۱ است. اندازه گیری دمای پوشش سبز گیاه در هر جویچه متناسب با درصد پوشش سبز گیاه و در نظر گرفتن D:S دستگاه انجام شد، تا خطای مربوط به اندازه گیری به حداقل برسد، بطوریکه در نقاط مختلف مورد اندازه‌گیری فاصله دماسنج تا پوشش گیاهی بین ۹۰ تا ۱۲۰ سانتیمتر متغیر بود، شکل (۴).

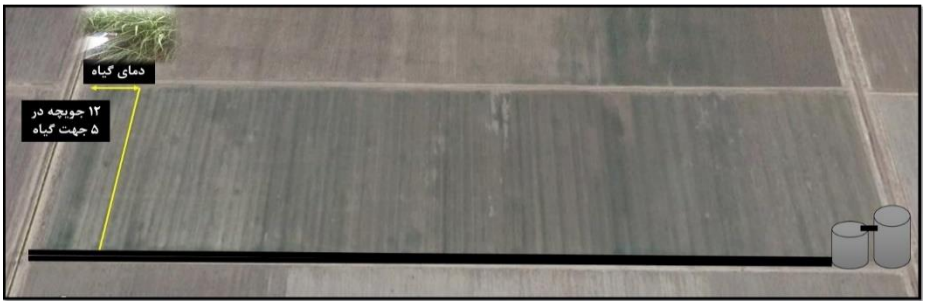
برای تعیین شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه در ۲۴ تا ۴۸ ساعت قبل از شروع آبیاری شبیه‌سازی شده مدل، مطابق شکل (۵) و (۶) به دو صورت انجام شد: ۱- انتخاب ۱۲ پشته (پشته شماره ۳۲ تا ۴۴) در سه هکتار انتهای مزرعه که محل شروع آبیاری در هر نوبت ۲- اندازه‌گیری از پنج ایستگاه کراپ لاگ به‌منظور ارزیابی تعیین زمان آبیاری مزرعه نیشکر با مدل AquaCrop و مقایسه با شاخص تنش آبی گیاه، از پژوهش برومند نسب و همکاران در سال ۸۶ استفاده شد که معادله شاخص تنش آبی گیاه با تعیین خط مبنای پایینی، خط مبنای بالایی، شاخص تنش رطوبتی برای محصول نیشکر و واریته CP۶۹-۱۰۶۲ به‌صورت زیر تعیین شده است.

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)m - 0.522 + 0.115VPD_m}{4.78 + 0.115VPD_m} \quad (۳)$$

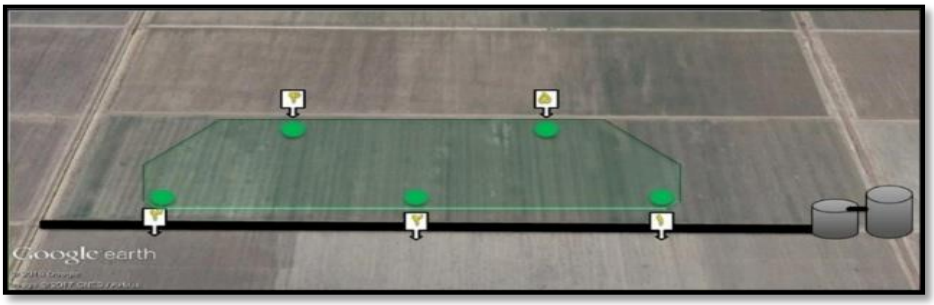
1- Crop Log
2- Air vapor pressure Deficit



شکل ٤- نسبت قطر جسم به فاصله اندازه‌گیری تا هدف در حالات مختلف



شکل ٥- اندازه‌گیری دمای گیاه از سه هکتاری انتهای مزرعه



شکل ٦- اندازه‌گیری دمای گیاه طبق ایستگاه کراپ لاگ

شکل ۷- اندازه‌گیری دمای گیاه در پنج جهت

که در آن: CWSI شاخص تنش آبی گیاه، VPD_m، کمبود فشار بخار اشباع در شرایط حداکثر تنش روزانه قبل از آبیاری(mbar)، (Tc-Ta)m، اختلاف درجه حرارت پوشش گیاهی و هوا قبل از آبیاری (درجه سانتیگراد).

$$V.P.Dm = e_s - e_a \quad (۴)$$

$$e_a = RH \times e_S \quad (۵)$$

eS-33.8636[(0.00738T+0.8072) 8 – 0.000019 (1.8T+48) + 0.001316] (۶)

e_s: فشار بخار اشباع هوا بر حسب میلی بار

e_a: فشار بخار واقعی هوا بر حسب میلی بار

RH: درصد رطوبت نسبی هوا

T: دمای هوا قبل از آبیاری بر حسب درجه سانتیگراد

در پژوهش برومند نسب و همکاران در سال ۸۶ توصیه شده، که مقدار CWSI قبل از آبیاری مزارع در طول ماه‌های خرداد تا شهریورماه با فرض میانگین شاخص تنش آب گیاه برابر ۰/۲ برای نیشکر (بین ۰/۱ تا ۰/۳ متغیر) بود.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

صحت سنجی مدل با استفاده از پارامترهای آماری جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) بر حسب درصد، شاخص سازگاری (d) و ضریب باقیمانده (CRM) انجام شد.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(|P_i - \bar{O}_i| + |Q_i - \bar{O}_i|)^2} \quad (۷)$$

$$CRM = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_i - \sum_{i=1}^{n} P_i}{\sum_{i=1}^{n} Q_i} \quad (۸)$$

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

که در آن‌ها Pi مقادیر پیش‌بینی شده، Qi مقادیر اندازه‌گیری شده، n تعداد نمونه‌های به‌کاررفته، $\bar{O}i$ مقدار متوسط پارامتر مشاهده شده می‌باشد.

مقدار R^2 نسبت میان پراکنش مقادیر اندازه‌گیری شده و پیشبینی شده را به دست می دهد. شاخص CRM گرایش مدل به سمت تخمین بیش از حد یا کمتر از حد را نشان می‌دهد. مقدار CRM منفی نشانگر گرایش به سمت تخمین بیش از حد است. (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۵).

سپس مقادیر به‌دست‌آمده از آزمایش‌های صحرایی با مقادیر برآورد شده توسط مدل AquaCrop در تعیین زمان آبیاری گیاه نیشکر در ماه‌های مختلف با استفاده از آزمون‌های آماری جزر میانگین مربعات خطا [۱] (RMSE)، ضریب باقیمانده [۲] (CRM) و شاخص سازگاری [۳] (d) مورد استفاده شد.

نتایج و بحث

برای تعیین شاخص تنش آبی گیاه، دمای پوشش سبز گیاه در ۲۴ تا ۴۸ ساعت قبل از آبیاری پیش‌بینی شده مدل AquaCrop در تاریخ‌های ۸ و ۱۶ و ۲۵ خردادماه، ۱ و ۸ و ۱۸ و ۲۷ تیرماه، ۴ و ۸ و ۱۷ و ۱۹ و ۳۱ مردادماه، ۱۴ و ۱۸ و ۲۸ شهریورماه و ۲۰ مهرماه اندازه‌گیری شد. همچنین اطلاعات مورد نیاز هواشناسی شامل حداکثر و حداقل دما و رطوبت نسبی از ایستگاه هواشناسی کشت و صنعت دعبل خزاعی اخذ گردید.

با توجه به جدول (۴) و (۵) میانگین اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مربوط به شاخص تنش آبی گیاه در پنج ایستگاه کراپ لاگ در سطح مزرعه و سه هکتار آخر مزرعه (محل شروع آبیاری) در ذیل آمده است.

شکل (۸) نشان می‌دهد که از اواخر تیرماه تا اوایل شهریورماه شاخص تنش آبی گیاه رو به منفی است، و این زمان مصادف با زمانی است که رطوبت نسبی به‌طور میانگین در این روزها بالاتر از ۵۰ درصد است.

رطوبت نسبی هوا و تبخیر و تعرق گیاه رابطه عکس دارد، و هر چه درصد رطوبت نسبی افزایش یابد تبخیر و تعرق کاهش یافته و در نتیجه دور آبیاری بیشتر می‌شود، یکی از دلایلی که در اواخر تیرماه و مردادماه دور آبیاری ۱۱ و ۱۳ روز شده است افزایش رطوبت نسبی هوا می‌باشد. ارتباط بین تبخیر و تعرق واقعی گیاه نیشکر (شبیه‌سازی مدل AquaCrop) و رطوبت نسبی هوا (کشت و صنعت دعبل خزاعی) در شکل (۹) آمده است.

مقایسه شاخص آماری آزمون F بین تنش آبی گیاه ایستگاه کراپ لاگ و سه هکتار آخر مزرعه که محل شروع آبیاری است، با نرم‌افزار SPSS در سطح معناداری ۹۵ درصد آمده است.

نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی آبیاری گیاه نیشکر با استفاده از مدل AquaCrop، می‌توان اظهار داشت که این مدل از دقت بالایی در شبیه‌سازی برخوردار است. یکی از دلایلی که می‌توان دقت بالای شبیه‌سازی در این پژوهش برشمرد، ایجاد کامل اطلاعات هواشناسی، گیاهی، مدیریتی (روش آبیاری و زراعی) و خصوصیات فیزیکی خاک به‌وسیله کاربر و انطباق کامل اطلاعات موجود در مدل با شرایط منطقه می‌باشد.

1- root-mean-square error
2- Residual Coefficient
3- Compatibility Index

جدول ٤- اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مربوط به شاخص تنش آبی گیاه در ایستگاه کراپ لاگ

	۹۶/۳/۸	۹۶/۳/۱۶	۹۶/۳/۲۵	۹۶/۴/۱	۹۶/۴/۸	۹۶/۴/۱۸	۹۶/۴/۲۷	۹۶/۵/۴
Tc (°c)	۲۹/۳۸	۳۱/۷۰	۳۴/۹۴	۳۱/۷۲	۳۲/۶۰	۳۲/۷۶	۳۴/۸۳	۳۱/۱۶
Ta (°c)	۳۴	۳۳/۵	۳۶	۳۱/۹	۳۷/۹	۳۵/۵	۳۸/۸	۳۶/۵
Tc-Ta (°c)	-۴/۶۲	-۱/۷۹	-۱/۰۵	-۰/۱۷۲	-۵/۲۹	-۲/۷۳	-۳/۹۶	-۵/۳۳
RH %	۲۰	۳۵	۳۵/۵	۲۰/۵	۳۱/۵	۵۵/۵	۲۹/۵	۲۳
es (mbar)	۵۳/۱۸	۵۱/۷۲	۵۹/۴۲	۹/۶۸	۲۰/۷۶	۳۲/۰۸	۲۰/۴۲	۶۱/۰۷
VPD (mbar)	۴۲/۵۴	۳۳/۶۱	۳۸/۳۲	۳۷/۵۷	۴۵/۱۵	۲۵/۷۲	۴۸/۸	۴۷/۰۲

ادامه جدول ٤- اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مربوط به شاخص تنش آبی گیاه در ایستگاه کراپ لاگ

	۹۶/۵/۸	۹۶/۵/۱۷	۹۶/۵/۱۹	۹۶/۵/۳۱	۹۶/۶/۱۴	۹۶/۶/۱۸	۹۶/۶/۲۸	۹۶/۷/۲۰
Tc (°c)	۲۹/۳۵	۳۵/۳۳	۳۲/۵۶	۲۸/۷۷	۲۷/۱۵	۲۶/۷۲	۲۸/۴۸	۲۳/۲۵
Ta (°c)	۳۷	۳۷/۷	۳۸	۳۵/۱	۳۱/۹	۳۲/۱	۳۲/۸	۲۵/۱
Tc-Ta (°c)	-۷/۶۴	-۲/۳۶	-۵/۴۴	-۶/۳۲	-۴/۷۴	-۵/۳۸	-۴/۳۲	-۱/۸۴
RH %	۴۰/۵	۵۱/۵	۴۶	۴۴/۵	۵۱/۵	۴۷/۵	۶۱/۵	۵۰/۵
es (mbar)	۶۲/۷۷	۶۵/۲۱	۶۶/۲۸	۵۶/۵۴	۴۷/۲۶	۴۷/۸۰	۴۹/۷۲	۳۱/۸۵
VPD (mbar)	۳۷/۳۴	۳۱/۶۲	۳۵/۷۹	۳۱/۳۸	۲۲/۹۲	۲۵/۰۹	۱۹/۱۴	۱۵/۷۶

جدول ٥- اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مربوط به شاخص تنش آبی گیاه در سه هکتار آخر مزرعه

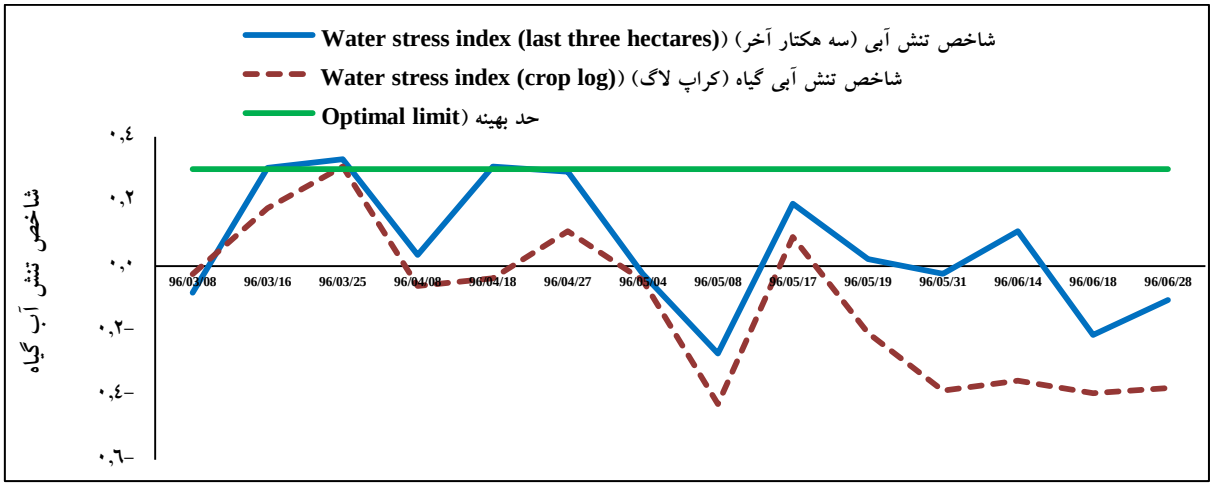
	۹۶/۳/۸	۹۶/۳/۱۶	۹۶/۳/۲۵	۹۶/۴/۱	۹۶/۴/۸	۹۶/۴/۱۸	۹۶/۴/۲۷
Tc (°c)	۲۸/۸۳	۳۳/۶۴	۳۶/۰۷	۳۱/۶۶	۳۴/۵۶	۳۵/۷۵	۳۵/۷۸
Ta (°c)	۳۴	۳۳/۵	۳۶	۳۱/۹	۳۷/۹	۳۵/۵	۳۸/۸
Tc-Ta (°c)	-۵/۱۷	۰/۱۴	۰/۰۷	-۰/۲۳	-۳/۳۳	۰/۲۵	-۳/۰۱
RH %	۲۰	۳۵	۳۵/۵	۲۰/۵	۳۱/۵	۵۵/۵	۲۹/۵
es (mbar)	۵۳/۱۸	۵۱/۷۲	۵۹/۴۲	۹/۶۸	۲۰/۷۶	۳۲/۰۸	۲۰/۴۲
VPD (mbar)	۴۲/۵۵	۳۳/۶۱	۳۸/۳۲	۳۷/۵۷	۴۵/۱۵	۲۵/۷۲	۴۸/۸

ادامه جدول ٥- اندازه‌گیری‌ها و محاسبات مربوط به شاخص تنش آبی گیاه در سه هکتار آخر مزرعه

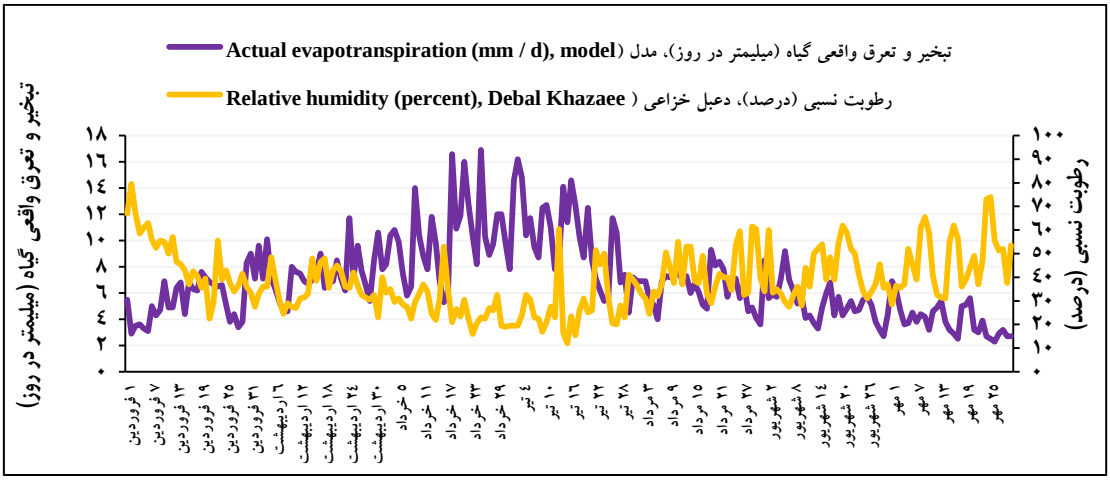
	۹۶/۵/۸	۹۶/۵/۱۹	۹۶/۵/۳۱	۹۶/۶/۱۴	۹۶/۶/۱۸	۹۶/۶/۲۸	۹۶/۷/۲۰
Tc (°c)	۳۰/۷۷	۳۴/۵۹	۳۱/۸۱	۳۰/۵۸	۲۸/۱۰	۳۰/۳۸	۲۴/۳۶
Ta (°c)	۳۷	۳۸	۳۵/۱	۳۱/۹	۳۲/۱	۳۲/۸	۲۵/۱
Tc-Ta (°c)	-۶/۲۳	-۳/۴۰	-۳/۲۹	-۱/۳۱	-۳/۹۹	-۲/۴۱	-۰/۷۴
RH %	۴۰/۵	۴۶	۴۴/۵	۵۱/۵	۴۷/۵	۶۱/۵	۵۰/۵
es (mbar)	۶۲/۷۷	۶۶/۲۸	۵۶/۵۴	۴۷/۲۶	۴۷/۸۰	۴۹/۷۲	۳۱/۸۵
VPD (mbar)	۳۷/۳۵	۳۵/۷۹	۳۱/۳۸	۲۲/۹۲	۲۵/۰۹	۱۹/۱۴	۱۵/۷۶

جدول ٦- مقایسه شاخص تنش آبی گیاه ایستگاه کراپ لاگ و سه هکتار آخر مزرعه

مقایسه	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰/۰۵۷	۳/۹۰۶	۰/۲۴۰	۱	۰/۲۴۰	بین گروه‌ها
		۰/۰۶۱	۳۰	۱/۸۴۱	داخل گروه‌ها
			۳۱	۲/۰۸۱	مجموع



شکل ۸- نمودار شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)، ۲٤ تا ٤۸ ساعت قبل از شبیه‌سازی مدل



شکل ۹- نمودار تبخیر و تعرق واقعی گیاه و رطوبت نسبی کشت و صنعت دعبل خزاعی

لذا، 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 موردنظر ساخته شود.

به‌طور کلی، با توجه به این که مدل AquaCrop از دقت بالایی در برنامه‌ریزی آبیاری برخوردار است، و نسبت به سایر مدل‌های موجود نیاز به اطلاعات ورودی کمتری دارد، استفاده از این روش در برنامه‌ریزی آبیاری نسبت به روش مرسوم کراپ لاگ (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.

نتایج زمان آبیاری مزرعه RY-۱۱ با مدل AquaCrop با مجموع دور آبیاری اعمال‌شده ۱۶/۶ دور (از فروردین تا مهرماه) و مقایسه با تعداد دور آبیاری مزارع پلنت واریته CP۶۹-۱۰۶۲ کشت و صنعت دعبل خزاعی به‌طور میانگین با مجموع ۲۰/۸ دور، مزرعه RY-۱۱ تعداد ۴/۲ دور کمتر و میزان عملکرد محصول این مزرعه ۱۲۸ تن در هکتار و متوسط عملکرد مزارع پلنت واریته CP۶۹-۱۰۶۲ کشت و صنعت دعبل خزاعی برابر ۱۰۳/۶۰ تن در هکتار به دست آمد.

کیفیت شربت نیشکر مزرعه RY-۱۱ شامل درصد خلوص (PTY%) و درصد استحصال شکر سفید (R.S%) برابر ۹۰ ٪ PTY= و ۱۱/۱ ٪ R.S= و میانگین مزارع پلنت واریته CP۶۹-۱۰۶۲ کشت و صنعت دعبل خزاعی برابر ۸۸/۶ ٪ PTY= و ۱۰/۸ ٪ R.S= بدست آمد.

منابع

الماسی شوشتری، م. ، برومند نسب ، س. ، کشکولی، ح. ع. ۱۳۸۷. تعیین زمان آبیاری با استفاده از تفاوت دمای پوشش سبز گیاه – هوا و شاخص تنش آبی در نیشکر. دومین همایش ملی مدیریت

شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.

برومند نسب، س. طاهری قناد، س. و معیری، م. ۱۳۸۳. استفاده از درجه حرارت پوشش سبز برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط شمال خوزستان. مجله علمی کشاورزی، دانشکده کشاورزی اهواز.

برومند نسب،س.، کشکولی،ح.ع.، ناصری،ع،ع، فرهاد،ر.، ۱۳۸۶، تعیین زمان آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی در گیاه نیشکر، جلد هفتم، شماره اول، بهار ۱۳۸۶.

جودی، ف.، ۱۳۹۰. استفاده از دماسنج مادون‌قرمز در برنامه‌ریزی آبیاری گیاه آفتابگردان در خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران.

روحانی، ه.، ۱۳۹۲. تعیین زمان آبیاری با اندازه گیری دمای پوشش سبز گیاه، دمای هوا و رطوبت خاک برای محصول نیشکر (مطالعه موردی: اراضی شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی). پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران.

رشید زاده، ف.، ۱۳۸۲. تعیین زمان آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی در گیاه نیشکر در منطقه شعبیه شوشتر. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران.

طاهری قناد، س.، ۱۳۸۱، استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه جهت برنامه‌ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط شمال خوزستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد و دانشگاه چمران.

علیزاده، ا. ۱۳۸۸. رابطه آب‌وخاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی دانشگاه امام رضا.

گلابی،م.، ناصری،ع،ع. ۱۳۹۴، به ارزیابی مدل AquaCrop در پیش بینی عملکرد نیشکر و شوری پروفیل خاک تحت تنش شوری در استان خوزستان، تحقیقات آب وخاک ایران، دوره ۴۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴ (ص ۶۹۴-۶۸۵)

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements. FAO Irrigation Drainage Paper No. 56, FAO. Rome, Italy. pp 1-326.

Asari, A.Q., and Loomis, W.E. 1959. Leaf temperature. Am. J. Bot. 46: 713-717.

Curtis, O.F. 1938. Wallace and Clum "leaf temperatures" - A critical analysis with additional data. Amer. J. Bot. 25: 761-771.

Doorenbos, J., A. H. Kassam. 1979. "Yield response to water". Irrigation and drainage. Paper No. 33. FAO. Rome.

Ehrler, W.L, Idso, S. B, Jackson, R. D and Reginato, R. J. 1978. Wheat canopy temperature relation to water potential. Agronomy Journal, Vol 70:251-256.

Farahani, H. J., G. Izzi, and T. Y. Oweis. 2008. "Parameterization and Evaluation of the AquaCrop Model for Full and Deficit Irrigation Cotton‘. Agron J.101:469-476.

Garcia-Vila, M., E. Fereres, F. Orgaz, and P. Stedute. 2008. Deficit Irrigation Optimazation of Cotton with AquaCrop. Agron J. 101:477-478.

Halim Orta, A., Y. Erdem. And T. Erdem. 2003. Crop Water Strees Index for Watermelon. Scientia Horticulturae. 98:121-130.

Idso, S.B., R.D. Jackson. And R.J. Reginato. 1977. Remote Sensing of Crop Yields. Science. 196:19-25.

Idso, S. B, Reginato, R. J and Radin, J. W. 1982. Leaf diffusion resistance and photosynthesis in cotton as related to a foliage temperature-based plant water stress index. Agricultural Meteorology. 27: 27-34.

Patel, N., P. Kumar, and N. Sign. 2008. Performance evaluation of AquaCrop in simulating Potato yield under varying water availability condition. Indian Agricultural Research Institute, New Delhi- 110012, India.

Paltineanu, C., Septar, L., and Moale, C. 2013. Crop Water Stress in Peach Orchards and Relationships with Soil Moisture Content in a Chernozem of Dobrogea.ASCE. J. Irrig. Drain Eng., 139: 20-25.

Russo D and Bakker D. 1986. Crop water production function for sweet corn and cotton irrigated and saline water. Soil science society and American journal. 51, 1554-1562.

Todorovic, M., R. Albrizio, L. Zivotic, M. Therese Abi Saab, C. Stockle, and P. Steduto. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst and WOFOST Models in the simulations of Sunflower growth under different water regimes. Agron. J. 101:509-521.

Wiegand, C.L. and L.N. Namken 1966. Influences of Plant Moisture Strees, Solar Radiation and Air Temperature on Cotton Leaf Temperature. Agron J. 58:522-556.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 13, Dec.-Jan. 2019, p. 1439-1450

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۳، آذر - دی ۱۳۹۸، ص. ۱۴۵۰-۱۴۳۹

Efficiency of Aqua Crop Model in Determining the Time of Sugar Cane Irrigation and its Monitoring with CWSI

J. Mohammadi Moalezade[1] *, A. Naseri[2], A. Hooshmand[3]
Recived: Jul.21, 2018 Accepted: Oct.24, 2019

Abstract

Water scarcity is considered as one of the important factors affecting the production of agricultural products. Using crop management models such as the AquaCrop model can be a useful tool for reviewing the options and the ability to examine them in different situations. This study was conducted to evaluate the AquaCrop model's ability to determine the irrigation time of sugarcane plant and it's monitoring with water stress index in 2017 in cultivars and cultivars of sugarcane arranger cultivars in a R7-11 field with a total area of 25 hectares and a plant (new crop) Variety CP69-1062 was performed in south Ahwaz. The calibration was done to determine the accuracy of the model at the time of irrigation of the sugarcane plant, including an examination of the water stress index (CWSI) with a reddened thermometer. This calibration showed that the AquaCrop model has a relatively high simulation ability in determining the cannabis irrigation time. The statistical analysis of the accuracy of the model in predicting the irrigation time of the field with the actual field conditions was RMSE = 2.0-day, d = 1.0 and CRM= 0.006. The irrigation scheduling of R7-11 farm with AquaCrop model was carried out with a total irrigation interval of 16.6 rounds (from April to October 2017), the number of irrigation intervals with the number of irrigation intervals in plantations of CP69-1062 plant cultivars and dental industry Compared with the total irrigation intervals in the farms of 20.8 rounds, the Khazaee was compared, it is observed that a R7-11 farm saved a quarter of the irrigation round in that year. The yield of this field yielded 128 tons per hectare and the average yield of planted plots of CP69-1062 varieties and cultivars were about 106.63 tons per hectare. The quality of the R7-11 sugarcane syrup contains purity (PTY %) and the percentage of white sugar (RS %) of PTY = 90.0 % RS = 11.1 % and the average plant plantation varieties of CP69-1062 cultivars and cultivars, PTY = 88.6 % and RS = 10.8 % were obtained. The results of this study showed that considering the AquaCrop model has high accuracy, the use of this method to determine the irrigation time compared to the current method (crop log) that is common in sugar cane companies in Khuzestan, both in terms of cost and in terms of its use in research projects.

Keywords: Irrigation time, moisture stress index, vegetation temperature, sugarcane, AquaCrop

1- Master of Irrigation and Drainage, Expert Audit and Monitoring the Performance of Agricultural Research and Training Institute for the Development of Sugar Cane of Khuzestan
2- Professor of Irrigation and Drainage, Water sciences, School of Engineering University of Shahid Chamran University of Ahvaz
3- Associate Professor Department of Irrigation and Drainage, Water Sciences, School of Engineering University of Shahid Chamran University of Ahvaz
(*- Corresponding Author Email: jamalmohammadi611@gmail.com)