



مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

صفحه‌های ۱۲۱-۱۳۳

برنامه‌ریزی آبیاری سویا با استفاده از اختلاف دمای هوا و پوشش گیاهی

حامد احمدی^۱، علی حیدر نصرالله^{۲*}، مجید شریفی‌پور^۳، حمیدرضا عیسوند^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران

۳. دانشیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۱

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۰۷

چکیده

شاخص تنش آبی گیاه که تابعی از اختلاف دمای پوشش گیاهی با دمای هواست، روش مطمئنی برای زمان‌بندی آبیاری و وضعیت آب در گیاهان است. این تحقیق با هدف برنامه‌ریزی آبیاری سویا با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان اجرا شد. برای این منظور سویا تحت چهار سطح آبیاری I₁, I₂, I₃ و I₄ به ترتیب با ۴۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی کشت شد. بر اساس نتایج، متوسط شاخص تنش آبی گیاه در طول دوره رشد برای تیمارهای I₁, I₂, I₃ و I₄ به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۳۷، ۰/۶۱ و ۰/۸۴ محاسبه شد، به طوری که به ازای هر واحد کاهش آب آبیاری، شاخص تنش به میزان ۰/۱۵ درصد افزایش یافت. رابطه بین عملکرد دانه سویا و CWSI نیز نشان داد که همبستگی آن با r=۰/۹۸ در سطح ۵ درصد معنادار است و با افزایش میزان شاخص تنش آبی گیاه مقدار عملکرد محصول کاهش می‌یابد، به طوری که بیشترین و کمترین عملکرد به ترتیب در تیمارهای I₁ و I₄ برابر با ۱۷۶۴/۷ و ۴۶۶/۱ کیلوگرم بر هектار به دست آمد. با توجه به تیمار بدون تنش (I₀), حد آستانه CWSI=۰/۱۸ مبنای محاسبه زمان آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی قرار گرفت. در نهایت، نیز رابطه $T_c - T_a = 1.04 - 0.13VPD$ (T_c-T_a)_a به منظور تعیین زمان آبیاری سویا با استفاده از اختلاف دمای برگ و هوا برای کل دوره رشد تعیین شد.

کلیدواژه‌ها: تنش آبی، دماسنجد، شاخص، عملکرد، مدیریت آب.

عمل تبخیر و تعرق از طریق تشعشع خورشید تأمین می‌شود. طی این عمل، گیاه آب را از محیط خاک جذب و از روزنها به صورت بخار خارج می‌کند. به هنگام عمل تعرق، آب سلول‌های زیر روزنها از محیط اطراف انرژی کسب می‌کند و تبخیر می‌شود. در نتیجه این فرایند، دمای پوشش سبز گیاه کاهش می‌یابد. در صورتی که رطوبت خاک کاهش یابد و گیاه آب کافی برای عمل تعرق در اختیار نداشته باشد، در اثر عدم تناسب بین عمل تعرق و جذب آب در ریشه، میزان مکش آب در آوندهای چوبی بالا می‌رود، در نتیجه باعث بسته شدن روزنها و کاهش عمل تعرق می‌شود. نتیجه آن به صورت افزایش دمای پوشش سبز ظاهر می‌شود (۵). بر این اساس، استفاده از دمای پوشش سبز گیاه شاخصی از تنش آبی و زمان آبیاری و مورد توجه محققان است. از اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوای مزرعه در محاسبه شاخص تنش آبی گیاه^(۱) (CWSI) استفاده می‌شود. CWSI تابعی از اختلاف دمای پوشش گیاهی با دمای هوا و روش مطمئنی برای زمان‌بندی آبیاری و تعیین وضعیت آب در گیاهان است.

تحقيقی در مزارع نیشکر خوزستان نشان داد تعیین زمان آبیاری با استفاده از روش اختلاف دمای پوشش سبز جایگزین مناسبی برای روش درصد رطوبت غلاف برگ است که به طور معمول در این مناطق استفاده می‌شود (۱). تحقیقی در مراغه به منظور تعیین شاخص تنش آبی در ارقام مختلف گندم دیم و محاسبه خطوط مبنای بالا و پایین انجام شد و آستانه تنش آبی گیاه 0.40 ± 0.06 دست آمد (۷).

مقدار CWSI در ذرت اقلیم اهواز در دو روش آبیاری

مقدمه

در بسیاری از مناطق ایران، تمام نیاز آبی گیاهان در طول دوره رشد از طریق آبیاری تأمین می‌شود. همچنین، به دلیل اینکه مراحل بحرانی رشد گیاهان در شرایط گرم و خشک تابستان اتفاق می‌افتد و نیاز آبی اغلب محصولات زراعی در این دوره بالاست، توجه به مدیریت آبیاری امری ضروری است. برنامه‌ریزی آبیاری از مهم‌ترین اقدامات در جهت مدیریت آب در مزرعه و افزایش راندمان آبیاری است. منظور از برنامه‌ریزی آبیاری تعیین زمان دقیق آبیاری و عمق آب مورد نیاز آبیاری است. بنابراین، اگر ابزار مناسبی برای تشخیص دقیق زمان و مقدار آب آبیاری در اختیار باشد، می‌توان ضمن جلوگیری از تنش وارد به گیاه، تلفات آب در مزرعه را به حداقل رساند و راندمان آبیاری و کارایی مصرف آب را بهبود بخشد. تعیین مناسب زمان آبیاری یکی از عوامل مؤثر در جلوگیری از کاهش عملکرد محصول است (۳). روش‌های استفاده شده برای برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس اندازه‌گیری مقدار آب موجود در خاک، شرایط اقلیمی یا پارامترهای هواشناسی و شاخص‌های گیاهی تعیین می‌شود. استفاده از مقدار رطوبت خاک و پارامترهای اقلیمی دقت لازم را ندارد، زیرا علاوه بر زمان بر و هزینه بر بودن آن، آثار تنش‌های محیطی، مانند تنش‌های ناشی از شوری را در نظر نمی‌گیرد. تعیین دقیق زمان آبیاری مستلزم شناخت وضعیت رطوبت درون گیاه است، از این‌رو به منظور بهبود برنامه‌ریزی آبیاری، از روش‌های تعیین وضعیت آب توسط شاخص‌های گیاهی استفاده می‌شود (۶).

دمای پوشش سبز گیاه یکی از شاخص‌های مرتبط با گیاه و نشان‌دهنده تنش آبی و شدت تعرق در گیاه است. با توجه به انرژی خواه بودن فرایند تبخیر، انرژی لازم برای

1. Crop Water Stress Index

مدیریت آب و آبیاری

آبی در گیاهان است. از آنجا که شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) تابع شرایط اقلیمی، نوع گیاه و عوامل مدیریتی در مزرعه است، لازمه استفاده از این روش به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری بررسی آن در گیاهان مختلف در شرایط اقلیمی و مدیریتی متفاوت است.

سویا یکی از شش گیاه اصلی روغنی است که اهمیت زیادی در تغذیه انسان، دام و مصارف متعدد صنعتی دارد. در حال حاضر این گیاه روغنی از نظر مجموع تولید و تجارت بین‌المللی، مهم‌ترین دانه بقولات است. عملکرد سویا نسبت به عملکرد دیگر محصولات روغنی در ایران بهتر است و در سال‌های خوب متوسط عملکرد آن از متوسط آسیا و حتی اروپا نیز بالاتر بوده است. این امر نشان‌گر پتانسیل خوب این محصول به عنوان کشتی راهبردی در کشور است (۲).

با توجه به استقبال کشاورزان به کشت این محصول در نقاط مختلف کشور، هدف از این تحقیق ارزیابی شاخص تنش آبی گیاه سویا تحت سطوح مختلف آبیاری و در نهایت استفاده از آن در تعیین زمان آبیاری در اقلیم خرم‌آباد است.

مواد و روش‌ها اجرای طرح

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان واقع در خرم‌آباد، مرکز استان لرستان، از اردیبهشت لغایت شهریور ۱۳۹۵ به مدت پنج ماه انجام شد. منطقه مورد نظر دارای مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۱۴۷ متری از سطح دریاست. اقلیم منطقه آب و هوای سرد و نیمه‌خشک دارد. متوسط ماهانه بارشی پارامترهای

بارانی و سطحی به ترتیب ۰/۱۸-۰/۱۴ و ۰/۱۵-۰/۱۴ تعیین شد. این نتایج نشان داد که با وجود آبیاری کامل در هر دو حالت، CWSI ذرت در شرایط آبیاری سطحی نسبت به آبیاری بارانی کمتر است (۸). تأثیر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای ذرت بر شاخص تنش آبی گیاه بررسی و متوسط مقدار این شاخص در تیمارهای ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۳۷ و ۰/۴۷ گزارش شد (۹).

بررسی قابلیت شاخص تنش آبی در برنامه‌ریزی آبیاری ذرت در شرایط آبیاری با آب شور نشان داد که با افزایش CWSI شوری از ۲/۲ تا ۶/۵ دسی‌زیمنس بر متر، میزان حدود سه برابر شد و مقدار ۰/۲۳ این شاخص مبنای برنامه‌ریزی آبیاری در این شرایط قرار گرفت (۴). نتایج تحقیقی در منطقه بورسا در ترکیه نشان داد که استفاده از CWSI باعث بهبود برنامه‌ریزی آبیاری سویا در مناطق مرطوب خواهد شد. حد آستانه و مجاز CWSI در این منطقه ۰/۲۲ تعیین شد (۱۰).

شاخص تنش آب بادمجان تحت رژیم‌های مختلف آبیاری با سیستم‌های قطره‌ای زیرسطحی و سطحی در منطقه مدیترانه‌شرقی ترکیه بررسی شد. نتایج نشان داد که برای CWSI رسیدن به عملکرد و کیفیت بالای بادمجان مقدار به ترتیب در سیستم قطره‌ای سطحی و زیرسطحی باید حدود ۰/۲ و ۰/۱۸ باشد (۱۱). استفاده از این شاخص در تعیین تنش آبی و مدیریت آبیاری سیب‌زمینی نیز موفقیت‌آمیز گزارش شد (۱۲).

تا به حال در زمینه برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از دمای برگ و شاخص تنش آبی گیاه در گیاهان مختلف تحقیقات مختلفی صورت گرفته است و نتایج آن‌ها نشان‌دهنده مؤثر بودن این روش در شناسایی و کنترل تنش

مدیریت آب و آبیاری

اعمال شد. در مجموع، دوازده کرت آزمایشی هر کدام به مساحت ۱۵ مترمربع با پنج جویچه انتهابسته به طول ۵ متر و عرض ۶۰ سانتی متر ایجاد شد. پس از تهیه کرت های آزمایشی و قبل از کشت سویا، برای بررسی برخی خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک مزرعه، نمونه برداری از نقاط مختلف تا عمق ۶۰ سانتی متری انجام شد (جدول ۲). علاوه بر این، با بررسی و آنالیز عناصر موجود در خاک، مقادیر مورد نیاز کودهای سولفات، فسفات و اوره محاسبه شد و در مراحل مختلف رشد در اختیار گیاه قرار گرفت. کاشت بذر سویا رقم M7 در تاریخ ۱۷ اردیبهشت و به صورت دستی انجام شد.

هواشناسی منطقه در طول دوره رشد سویا در جدول ۱ آمده است که از ایستگاه هواشناسی شهرستان خرم‌آباد در ۵ کیلومتری دانشکده کشاورزی تهیه شده است. به منظور دستیابی به اهداف تحقیق، کشت سویا در اوایل اردیبهشت، پس از حذف بقاوی گیاهی از مزرعه، عملیات شخم و ایجاد جویچه ها انجام شد. این تحقیق در قالب طرح بلوک های کامل تصادفی و با چهار سطح آبیاری I₁ (آبیاری کامل در طول دوره رشد)، I₂ (در صد درصد نیاز آبی)، I₃ (در صد نیاز آبی) و I₄ (در صد نیاز آبی) در سه تکرار صورت گرفت. لازم به ذکر است که تیمارهای آزمایش پس از استقرار و تثبیت کامل گیاه

جدول ۱. میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد

پارامتر اقلیمی	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بیشینه درجه حرارت (سانتی گراد)	۲۸/۳۹	۲۳/۷۲	۳۹/۹۸	۴۰/۲۴	۳۶/۹۸
کمینه درجه حرارت (سانتی گراد)	۱۱/۰۳	۱۳/۰۶	۱۸/۹۶	۲۰/۲۱	۱۵/۶۷
رطوبت نسبی (درصد)	۵۲/۰۸	۲۷/۷۰	۲۰/۸۸	۱۹/۳۰	۲۲/۶۰
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۶/۵۴	۶/۱۹	۵/۰۸	۵/۳۵	۵/۷۴
بارندگی (میلی متر)	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۲. برخی خصوصیات فیزیکی - شیمیایی خاک مزرعه در عمق ۰-۳۰ سانتی متری

عمق خاک (cm)	پافت خاک	FC (% حجمی)	PWP (% حجمی)	ρ_b (gr/cm ³)	EC (ds/m)	P (ppm)	K (ppm)	کربن آلی (%)
۰-۳۰	رسی	۳۳	۱۴	۱/۲	۰/۵۵	۶/۸	۳۴۵	۱/۱
۳۰-۶۰	رسی	۳۸	۱۸	۱/۲۳	۰/۳	۲/۶	۲۱۸	۰/۷

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

$$dn = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times Z_r \quad (1)$$

در این رابطه dn عمق خالص آبیاری (mm)، θ_i رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، θ_{fc} رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی، ρ_b گرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) و Zr عمق ریشه (mm) است. عمق ناخالص آبیاری نیز با توجه به راندمان آبیاری ۹۵ درصد محاسبه شد. در نهایت، حجم آب مورد نیاز برای هر کرت از حاصل ضرب عمق ناخالص در مساحت کرت به دست آمد. لازم به ذکر است که برای تیمارهای تنش آبی I_2 ، I_3 و I_4 حجم آب محاسبه شده برای تیمار I_1 به ترتیب در ضرایب $0/8$ ، $0/6$ و $0/4$ ضرب شد. برنامه آبیاری در طول فصل در جدول ۴ ارائه شده است. اندازه‌گیری دمای برگ از اواخر خرداد صورت گرفت.

برنامه آبیاری

آبیاری طرح بهروش آبیاری جوی و پشتهدای انجام شد. منع آب آبیاری چاه موجود در داشکده بود و از طریق سیستم لوله‌کشی به داخل مزرعه منتقل شد. در جدول ۳ برخی خصوصیات کیفی آب آمده است. در این تحقیق، دور آبیاری ثابت و به طور متوسط هفت روز در نظر گرفته شد، ولی برای اطمینان از اینکه گیاه تحت تنش آبی قرار نگیرد، در روزهای بعد از آبیاری پایش رطوبت خاک به روش وزنی از هر سه کرت صورت می‌گرفت و با حد مجاز تخلیه رطوبتی خاک مقایسه شد. اگر رطوبت خاک بیش از تخلیه مجاز بود، طبق روال معمول دور آبیاری هفت روزه بود، و در غیر این صورت به پنج یا شش روز کاهش می‌یافت. عمق خالص آبیاری با هدف جایگزین کردن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد ظرفیت زراعی از رابطه (۱) تعیین شد.

جدول ۳. خصوصیات کیفی آب آبیاری

SAR	Na(meq/l)	Mg(meq/l)	Ca(meq/l)	TDS(meq/l)	EC(ds/m)	PH
۰/۷۳	۱/۲۸	۱/۶	۴/۶	۳۹۷	۰/۶	۷

جدول ۴. برنامه آبیاری سویا در طول دوره رشد

عمق آبیاری (میلی متر)	تاریخ آبیاری	عمق آبیاری (میلی متر)	تاریخ آبیاری
۴۵	۱۳۹۵/۴/۲۰	۱۷	۱۳۹۵/۲/۳۰
۵۵	۱۳۹۵/۴/۲۷	۱۵	۱۳۹۵/۳/۴
۵۵	۱۳۹۵/۵/۳	۲۲	۱۳۹۵/۳/۹
۵۰	۱۳۹۵/۵/۱۰	۳۰	۱۳۹۵/۳/۱۴
۶۴	۱۳۹۵/۵/۱۷	۲۲	۱۳۹۵/۳/۱۹
۶۰	۱۳۹۵/۵/۲۴	۳۹	۱۳۹۵/۳/۲۴
۴۹	۱۳۹۵/۵/۳۱	۴۴	۱۳۹۵/۳/۳۰
۵۲	۱۳۹۵/۶/۷	۳۸	۱۳۹۵/۴/۶
۴۶	۱۳۹۵/۶/۱۴	۵۰	۱۳۹۵/۴/۱۳

دیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

است. کمبود فشار بخار هوا (VPD) نیز بر حسب میلی بار از رابطه (۳) تا (۵) حساب می شود (۴).

$$VPD = e_s(T_a) - e_a \quad (3)$$

$$e_s(T_a) = (0.6108 * EXP(\frac{17.27 * T_a}{T_a + 237.3})) * \frac{1000}{101} \quad (4)$$

$$e_a = e_s(T_a) * (\frac{RH}{100}) \quad (5)$$

در روابط فوق، $e_s(T_a)$ فشار بخار اشباع در دمای هوا بر حسب میلی بار، e_a فشار بخار واقعی هوا بر حسب میلی بار و RH درصد رطوبت نسبی است. درجه حرارت هوا از سایکرومتر موجود در ایستگاه هواشناسی مزرعه، شامل دو دماسنجد جیوه ای تر و خشک، قرائت شد. از اختلاف دمای دماسنجد تر و خشک در تعیین رطوبت هوا و کمبود فشار بخار هوا استفاده شد. خط مبنای بالایی یا خط تنش کامل نیز معرف اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوای مجاور در شرایط تنش کامل (تعرق صفر) است. شکل ریاضی معادله خط مبنای بالایی یا $(T_c - T_a)_{ul}$ به صورت رابطه (۶) است که در آن h مقداری ثابت است و به موازات محور کمبود فشار بخار اشباع رسم می شود (۱۳).

$$(T_c - T_a)_{ul} = h \quad (6)$$

طبق معادله خط مبنای پایینی و با در اختیار داشتن ضرایب a و b موقعیت خط مبنای بالایی بر اساس رابطه (۷) تعیین می شود (۱۴).

$$(T_c - T_a)_u = a + b|VPG| \quad (7)$$

در این رابطه VPG شبیه فشار بخار هوا بر حسب میلی بار است که از رابطه (۸) به دست می آید؛ به عبارت دیگر، در این شرایط عمل تعرق بدون وابستگی به مقدار VPD قطع می شود.

$$VPG = e_s(a + T_a) - e_s(T_a) \quad (8)$$

اندازه گیری دمای برگ و شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)

اندازه گیری دمای پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله محیط، مرحله رشد گیاه، رطوبت و شوری خاک است و به وسیله دماسنجد مادون قرمز انجام شد. دماسنجد مادون قرمز در حقیقت روش غیرمخربی است که وسیله اندازه گیری با گیاه تماس پیدا نمی کند و به سرعت درجه حرارت پوشش گیاهی را اندازه گیری می کند. اندازه گیری های دمای پوشش گیاهی معمولاً در روزهایی انجام می شود که هوا ابری نباشد تا از خطاها ای احتمالی جلوگیری شود (۶). به منظور تعیین خط مبنای پایین، دمای پوشش سبز در روزهای بعد از آبیاری که گیاه با بهترین شرایط رطوبتی مواجه است از ساعت ۸ الی ۱۴ و با فاصله زمانی یک ساعت از هر سه تکرار تیمار شاهد اندازه گیری شد و در هر ساعت متوسط قرائت های هر سه تکرار به عنوان دمای برگ مذکور شد (۴، ۶، ۸ و ۹). در هر بار قرائت، دمای برگ از جهات مختلف گیاه ثبت و متوسط آن در نظر گرفته شد. خط مبنای پایین برای هر گیاه بیانگر این واقعیت است که هنگام تعرق پتانسیل، هر یک از نباتات به اندازه مشخص و معینی در مقابل تغییرات محیطی از خود عکس العمل نشان می دهد، لذا مقادیر تعرق انجام شده در گیاهان مختلف متفاوت است. با داشتن اختلاف دمای هوا (T_a) و پوشش سبز (T_c) یا $(T_c - T_a)_{ll}$ و کمبود فشار بخار اشباع هوا (VPD)، خط مبنای پایین از رابطه (۲) محاسبه می شود (۱۳).

$$(T_c - T_a)_{ll} = a + b(VPD) \quad (2)$$

در این رابطه، $(T_c - T_a)_{ll}$ اختلاف دمای هوا با پوشش سبز گیاه در شرایط بدون تنش است که در آن میزان تبخیر و تعرق بیشینه است و گیاه دچار هیچ تنش آبی نمی شود. a و b به ترتیب عرض از مبدأ و شبیه خط

مدیریت آب و آبیاری

در طول دوره رشد گیاه است. روابط خطوط مبنای پایین و بالا در ماههای مختلف با استفاده از داده‌های مربوط به هر ماه محاسبه شد (جدول ۶). شبیخ طوط مبنای پایین در ماههای خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب ۰/۲۲، ۰/۱۹، ۰/۲۲ و ۰/۱۴ و عرض از مبدأ آن نیز ۱/۴۹، ۱/۱۵، ۱/۰۴ و ۱/۲۳ است. مقادیر خط مبنای بالا نیز در ماههای خرداد، تیر، مرداد و شهریور به ترتیب ۱/۵۹، ۲/۱۷، ۲/۲۳ و ۱/۵۸ برآورد شد. همان‌طور که پیش از این نیز بیان شد، این تفاوت‌ها ناشی از اختلاف تعرق در مراحل رشد گیاه است. در تحقیقات دیگری نیز نتایج مشابهی برای گیاه ذرت در دوره رشد گزارش و پیشنهاد شد که برای ماههای مختلف روابط جداگانه‌ای ارائه شود (۶ و ۸). روابط خطوط مبنای برای کل دوره رشد در شکل ۱ نشان داده شده است. این شکل رابطه بین کمبود فشار بخار اشباع هوا (VPD) و اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا (Tc-Ta) را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۱ مشخص است، با افزایش کمبود فشار بخار اشباع هوا، اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا نیز افزایش می‌یابد. با توجه به شکل موجود، شبیخ و عرض از مبدأ خط مبنای پایین و نیز مقدار خط مبنای بالا به ترتیب ۰/۱۶، ۰/۸۵ و ۰/۸۹ به دست آمد. این در حالی است که در تحقیق دیگری این ضرایب برای سویا در ترکیه ۰/۱۸، ۰/۶۴ و ۰/۶۲ گزارش شد (۱۰) که نشان می‌دهد در گیاه خاصی نیز این روابط بسته به شرایط اقلیمی متفاوت است. حتی در گیاه خاص و در اقلیمی مشخص، با وجود مدیریت‌های متفاوت خطوط مبنای بالا و پایین متفاوتی گزارش شده است (۸ و ۱۱). اختصاصی بودن این خطوط در هر گیاه بیانگر این واقعیت است که هنگام تعرق پتانسیل، هر یک از گیاهان به اندازه مشخص و معینی در مقابل تغییرات محیطی از خود عکس‌العمل نشان می‌دهد. لذا، مقادیر تعرق در گیاهان مختلف و بسته به شرایط مدیریتی متفاوت است.

برای تعیین شاخص تنش آبی (CWSI) دمای پوشش سبز در روزهای قبل از آبیاری به همراه دما‌سنج‌های تر و خشک در فاصله زمانی ۱۱ تا ۱۴ در همه تیمارها اندازه‌گیری و شاخص تنش آبی طبق رابطه (۹) محاسبه شد (۱۴ و ۱۵).

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{ll}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}} \quad (9)$$

در رابطه فوق، $(T_c - T_a)_m$ اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا در روزی است که شاخص تنش آب آن حساب می‌شود. بر این اساس، شاخص تنش آبی گیاه بین صفر برای حالت بدون تنش تا ۱ برای حالتی که گیاه با تنش کامل مواجه است متغیر است (۱۴). لازم به ذکر است که اندازه‌گیری دمای برگ در روزهای قبل از آبیاری به منظور محاسبه شاخص تنش آبی بعد از اعمال تیمارهای آبیاری آغاز شد.

نتایج و بحث

روابط خط مبنای بالا و پایین در طول فصل

روابط به دست آمده برای موقعیت خط مبنای پایین و بالا در روزهای مختلف نمونه‌برداری در جدول ۵ آمده است. چنانکه ملاحظه می‌شود، ضرایب a و b در رابطه خط مبنای پایین در روزهای مختلف مقادیر متفاوتی برآورده شد که نشان‌دهنده تفاوت شرایط تعرق در طول فصل رشد گیاه است. به عبارت دیگر، با وجود آب کافی در خاک و عدم تنش، بسته به مرحله رشد گیاه، پتانسیل جذب آب و در نتیجه میزان تعرق گیاه متفاوت است. از این‌رو، موقعیت خط مبنای پایین در زمانهای مختلف متغیر است. ضرایب تبیین بالا در هر رابطه بیانگر دقیق قابل قبول روابط استخراجی و از ۰/۸۱ تا ۰/۹۸ متغیر است. روابط خط مبنای بالا نیز از مقدار ۳/۳۴ تا ۱/۰۶ درجه برای روزهای مختلف به دست آمد که بیانگر تفاوت وضعیت تنش کامل

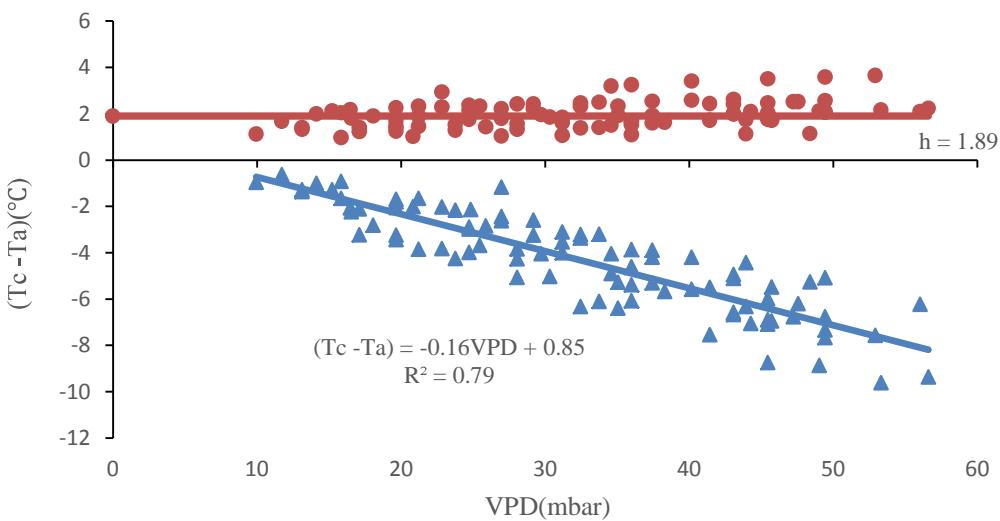
مدیریت آب و آبیاری

جدول ۵. روابط خطوط مبنای پایین و بالا در روزهای مختلف

نمونه برداری	روزهای بعد از کشت	رابطه خط مبنای پایینی	R ²	رابطه خط مبنای بالا
۱	۴۰	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.40 - 0.22VPD$	۰.۸۱	$(T_c - T_a)_{ul} = 2.27$
۲	۴۶	$(T_c - T_a)_{l,l} = 0.68 - 0.21VPD$	۰.۹۷	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.27$
۳	۵۳	$(T_c - T_a)_{l,l} = 0.98 - 0.20VPD$	۰.۹۱	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.57$
۴	۶۰	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.38 - 0.17VPD$	۰.۹۵	$(T_c - T_a)_{ul} = 2.02$
۵	۶۷	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.02 - 0.16VPD$	۰.۹۳	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.47$
۶	۷۴	$(T_c - T_a)_{l,l} = 0.94 - 0.19VPD$	۰.۹۸	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.60$
۷	۸۱	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.18 - 0.19VPD$	۰.۹۳	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.88$
۸	۸۸	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.45 - 0.18VPD$	۰.۹۶	$(T_c - T_a)_{ul} = 2.27$
۹	۹۵	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.87 - 0.19VPD$	۰.۹۷	$(T_c - T_a)_{ul} = 3.34$
۱۰	۱۰۲	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.56 - 0.16VPD$	۰.۹۶	$(T_c - T_a)_{ul} = 2.29$
۱۱	۱۰۹	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.63 - 0.15VPD$	۰.۹۷	$(T_c - T_a)_{ul} = 2.48$
۱۲	۱۱۶	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.43 - 0.14VPD$	۰.۹۲	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.89$
۱۳	۱۲۳	$(T_c - T_a)_{l,l} = 0.92 - 0.13VPD$	۰.۹۷	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.06$

جدول ۶. روابط خطوط مبنای پایین و بالا در ماههای مختلف

ماه	رابطه خط مبنای پایینی	R ²	رابطه خط مبنای بالا
خرداد	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.49 - 0.19VPD$	۰.۹	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.59$
تیر	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.15 - 0.22VPD$	۰.۹	$(T_c - T_a)_{ul} = 2.17$
مرداد	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.54 - 0.18VPD$	۰.۹۲	$(T_c - T_a)_{ul} = 2.23$
شهریور	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.23 - 0.14VPD$	۰.۹۴	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.58$



شکل ۱. نمودار خط مبنای پایین و بالا در کل دوره رشد

تعرق را کاهش می‌دهد که در نتیجه آن درجه حرارت پوشش گیاهی نسبت به هوای مجاور آن افزایش می‌یابد. در نهایت، CWSI افزایش می‌یابد. هر چه اختلاف درجه حرارت بین هوا و پوشش گیاهی بیشتر باشد، میزان افزایش این شاخص نیز بیشتر است. مقادیر متوسط شاخص تنفس آبی گیاه در طول دوره رشد در تیمارهای مختلف در جدول ۷ آمده است. نتایج مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که مقادیر شاخص تنفس آبی گیاه سویا در سطوح مختلف آبیاری در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معناداری دارد. مقدار متوسط CWSI در تیمار کامل آبیاری (I₁) ۰/۱۸ تعیین شد، در حالی که این مقدار در سویا در بورسای ترکیه ۰/۲۲ گزارش شد (۱۰). رابطه بین شاخص تنفس آبی گیاه سویا با عمق آب آبیاری در شکل ۳ نشان داده شده است.

رابطه رگرسیونی بین شاخص تنفس آبی و عمق آبیاری به صورت $CWSI = -0.001I + 1.278$ با ضریب تعیین ۰/۹۹، تعیین شد. رابطه این دو متغیر همبستگی بالایی دارد که با استفاده از آزمون همبستگی در سطح احتمال ۱ درصد معنادار است. با توجه به شکل ۳، چنانکه ملاحظه می‌شود،

محاسبه شاخص تنفس آبی گیاه (CWSI) و رابطه آن با عملکرد محصول

با مشخص بودن خطوط مبنای پایین و بالا و متوسط اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوای در روزهای قبل از آبیاری، شاخص تنفس آبی سویا با استفاده از رابطه (۹) محاسبه شد. شکل ۲ روند تغییرات شاخص تنفس آبی را در تیمارهای مختلف آبیاری در طول دوره رشد نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲، میزان شاخص تنفس آبی در ابتدای اعمال تیمارها تفاوت زیادی با هم ندارد و با گذشت زمان تأثیر تیمارها کاملاً مشخص شد، تا جایی که در انتهای دوره رشد به بیشترین میزان اختلاف رسید. با کاهش سطح آبیاری، مقادیر CWSI افزایش یافت، به گونه‌ای که مقدار این شاخص در تیمار I₄ بالاترین مقدار (۰/۷ تا ۰/۹۳) و در تیمار I₁ کمترین مقدار (۰/۰۴ تا ۰/۳۶) را داشت. این نتایج با نتایج دیگر محققان نیز مطابقت دارد (۵، ۹ و ۱۰).

چنانکه بیان شد، مقدار CWSI علاوه بر پارامترهای اقلیمی، تابع اختلاف درجه حرارت بین هوا و پوشش گیاهی است. بنابراین، با کاهش سطح آبیاری، میزان تنفس وارد به گیاه افزایش یافت. لذا، گیاه با بستن روزنه‌ها میزان

مدیریت آب و آبیاری

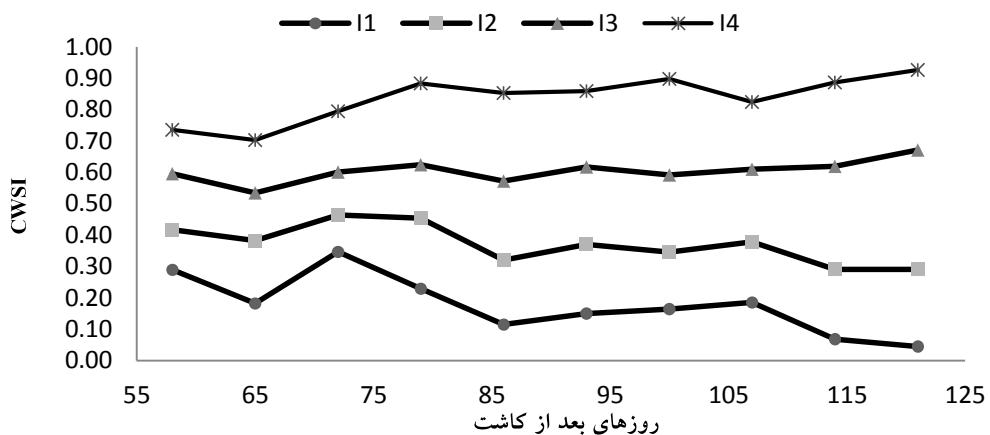
کمترین عملکرد در تیمار I₄ با متوسط تنش آب ۰/۸۴ برابر ۴۶۶/۱ کیلوگرم بر هکتار به دست آمد. همبستگی بین عملکرد محصول و CWSI در سطح اطمینان ۵ درصد با ضریب همبستگی $t=0/98$ معنادار است. از این‌رو، می‌توان گفت که CWSI به خوبی بیانگر میزان تنش وارد به گیاه است، به گونه‌ای که با افزایش آن عملکرد به شدت کاهش می‌یابد. از این‌رو، می‌توان از این شاخص در برآورده عملکرد محصول تحت شرایط تنش آبی استفاده کرد. رابطه بین عملکرد دانه سویا و شاخص تنش آبی به صورت

$$Y = 1551.5CWSI^2 - 3470.7CWSI + 2306.7$$

و با ضریب $R^2=0/99$ برآورد شد. با توجه به مقدار R^2 این مدل رگرسیونی دقت بالایی دارد و از آن در مدیریت بهتر آب در مزرعه می‌توان استفاده کرد.

با کاهش عمق آب مصرفی، شاخص تنش آبی افزایش یافت، به طوری که به ازای ۷۵۳ میلی‌متر آبیاری شاخص تنش آبی ۰/۱۸ است، در حالی که به ازای ۳۰۱ میلی‌متر آبیاری شاخص تنش آبی ۰/۸۴ است که در تیمار I₄ رخ می‌دهد. به عبارت دیگر، با کاهش آب آبیاری، گیاه برای مقابله با کم‌آبی روزنه‌های خود را می‌بندد و از این‌رو سبب کاهش تعرق می‌شود. این امر دمای برگ گیاه و در نتیجه شاخص تنش آبی را افزایش می‌دهد.

رابطه بین عملکرد دانه سویا و CWSI نیز نشان می‌دهد که با افزایش میزان تنش آبی گیاه مقدار عملکرد محصول کاهش می‌یابد (شکل ۴). همان‌طور که از شکل ۴ مشخص است، بیشترین عملکرد سویا در تیمار I₁ با متوسط تنش ۰/۱۸ برابر ۱۷۶۴/۷ کیلوگرم بر هکتار است. از طرفی،



شکل ۲. روند تغییرات CWSI در طول دوره رشد در تیمارهای مختلف

جدول ۷. مقادیر متوسط شاخص تنش آبی گیاه در طول فصل برای تیمارهای مختلف

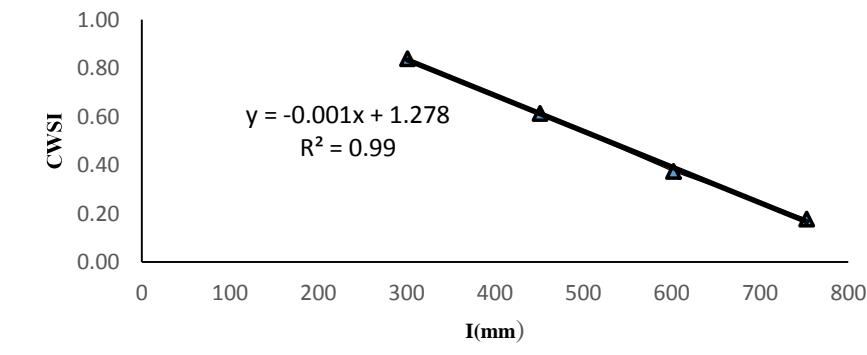
تیمار	شاخص تنش آبی
I ₄	۰/۸۴d
I ₃	۰/۶۱c
I ₂	۰/۲۷b
I ₁	۰/۱۸a ⁺

مقادیر دارای حروف مشترک طبق آزمون دانکن در سطح ۱ درصد اختلاف معناداری ندارد.

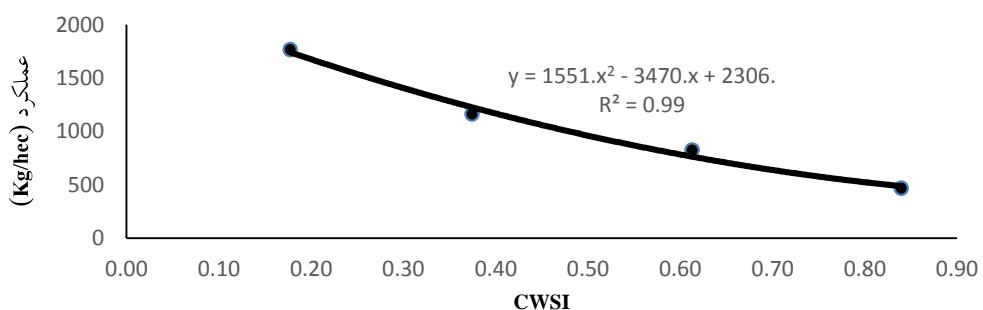
مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶

برنامه‌ریزی آبیاری سویا با استفاده از اختلاف دمای هوا و پوشش گیاهی



شکل ۳. رابطه بین شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) و عمق آبیاری (I)



شکل ۴. رابطه بین عملکرد محصول و شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)

مجاز محاسبه شود. سپس، مقدار $(T_c - T_a)_m$ یعنی اختلاف درجه حرارت هوا و پوشش گیاهی نیز در شرایط حداقل تنش یعنی ساعت ۱۱ الی ۱۴ با استفاده از دما منج اندازه گیری و محاسبه می شود. از مقایسه مقدار اندازه گیری شده با مقدار مجاز محاسبه شده می توان زمان آبیاری را تشخیص داد، به طوری که اگر مقدار اندازه گیری شده از مقدار مجاز کوچکتر باشد، هنوز زمان آبیاری فرانسیده است و اگر مقدار اندازه گیری شده از مقدار مجاز بزرگتر یا برابر باشد، زمان انجام آبیاری فرانسیده است (۸، ۱۳ و ۱۴). از این‌رو، رابطه آبیاری سویا در منطقه است که برای کل دوره رشد استفاده می شود.

برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از CWSI
از ویژگی های کاپردنی CWSI، استفاده از آن به منظور تعیین زمان بندی آبیاری است. برای این منظور کمترین مقدار شاخص تنش آبی که در تیمار شاهد و در شرایط بدون تنش و بیشترین عملکرد حاصل شد و برابر 0.18 است مبنای برنامه‌ریزی آبیاری سویا در منطقه قرار می‌گیرد. بر این اساس، برای زمان بندی آبیاری، روابط مورد نیاز برای ماه های مختلف و در نهایت کل دوره رشد استخراج شد (جدول ۸). برای تعیین زمان مناسب آبیاری، یعنی قبل از اینکه به گیاه تنش وارد شود، بر اساس روابط استخراجی باید مقدار کمبود فشار بخار اشباع را در ساعت ۱۱ الی ۱۴ اندازه گیری کرد که گیاه با حداقل تنش روزانه مواجه است و با جایگذاری آن در معادله مورد نظر مقدار $(T_c - T_a)_a = 1.04 - 0.13VPD$ می شود.

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ بهار و تابستان ۱۳۹۶

جدول ۸، روابط مورد استفاده در برنامه‌ریزی آبیاری

روابط برنامه‌ریزی آبیاری	ماه
$(T_c - T_a)_a = 1.28 - 0.15VPD$	خرداد
$(T_c - T_a)_a = 1.67 - 0.14VPD$	تیر
$(T_c - T_a)_a = 1.65 - 0.15VPD$	مرداد
$(T_c - T_a)_a = 1.26 - 0.12VPD$	شهریور
$(T_c - T_a)_a = 1.04 - 0.13VPD$	کل دوره

منابع

۱. الماسی شوشتاری م، کشکولی ح، برومندنسب س. و موسوی س. (۱۳۸۷) تعیین زمان آبیاری با استفاده از تفاوت دمای پوشش سبز گیاه - هوا و شاخص تنفس آبی در نیشکر. مجموعه مقالات دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
۲. بابازاده ح، سرائی تبریزی م، پارسی نژاد م. و مدرس ثانوی س. (۱۳۸۹) بررسی برخی صفات کیفی و کمی زراعی سویا (Glycine max L. Merrill) در شرایط تنفس آبی. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۴(۲): ۹۹-۱۰۹.
۳. رنجبر ع. (۱۳۸۴) برنامه‌ریزی آبیاری گیاه چغندر قند با استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه در شمال خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ۱۱۴ صفحه.
۴. سعیدی‌نیا م، برومندنسب س، هوشمند ع، سلطانی محمدی ا. و اندرزیان ب. (۱۳۹۵) قابلیت کاربرد شاخص CWSI برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت با آب شور در اهواز. دانش آب و خاک. ۲۶(۱): ۱۷۳-۱۸۵.
۵. سیفی ا، میرلطیفی س.م، دهقانی سانیج ح. و ترابی م. (۱۳۹۳) تعیین شاخص تنفس آب برای درختان پسته

نتیجه‌گیری

زمان‌بندی دقیق آبیاری یکی از عوامل مؤثر در کنترل و جلوگیری از تنفس آبی در گیاهان است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد CWSI به خوبی بیانگر میزان تنفس آبی گیاه است و برای بهبود برنامه‌ریزی آبیاری استفاده می‌شود. در این تحقیق، نخست روابط خطوط مبنای پایین و بالا در کل دوره رشد تعیین شد. با استفاده از خطوط مبنای استخراج شده مقادیر متوسط CWSI در طول فصل برای تیمارهای I₁, I₂, I₃ و I₄ به ترتیب ۰/۱۸, ۰/۳۷, ۰/۶۱ و ۰/۸۴ محاسبه شد. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که این مقادیر در سطح احتمال ۱ درصد تفاوت معناداری دارد. ضریب همبستگی بین عملکرد محصول و شاخص تنفس آبی گیاه ۰/۹۸ تخمین زده شد که در سطح احتمال ۵ درصد معنادار بود. از این‌رو، می‌توان از این شاخص در برآورد عملکرد محصول تحت شرایط تنفس آبی استفاده کرد. سپس، روابطی برای تعیین زمان مناسب آبیاری با استفاده از شاخص تنفس آبی گیاه (CWSI) در سویا در ماههای خرداد، تیر، مرداد، شهریور و در نهایت برای کل دوره رشد در اقلیم خرم‌آباد ارائه شد. با توجه به اینکه این شاخص تنها زمان آبیاری را برای ما مشخص می‌کند، لازم است در تکمیل برنامه‌ریزی آبیاری، نیاز آبی گیاه از روش‌های دیگر محاسبه شود.

مدیریت آب و آبیاری

- subsurface drip systems. Agriculture and Agricultural Science Procedia. 4: 372-382.
12. Gerhards M., Rock G., Schlerf M. and Udelhoven T. (2016) Water stress detection in potato plants using leaf temperature, emissivity, and reflectance. Applied Earth Observation and Geoinformation. 53(14): 27-39.
13. Idso S.B. (1982) Non-water-stressed baselines – a key to measuring and interpreting plant water stress. Agricultural Meteorology. 27: 59-70.
14. Idso S.B., Jackson R.D., Pinter P.J. and Hatfield J.L. (1981) Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agricultural Meteorology. 24: 45-55.
15. Jackson R.D., Idso S.B., Reginato R.J. and Pinter J.R. (1981) Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resource Research. 17(4): 1133-1138.
- تحت روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از اختلاف دمای تاج گیاه و هوا. مدیریت آب و آبیاری. ۱۳۶-۱۲۳(۱): ۱۳۶-۱۲۳.
۶. طاهری قناد س. (۱۳۸۷) برنامه‌ریزی آبیاری مزارع با استفاده از یک روش مستقیم. مجموعه مقالات دومین سمینار راهکارهای بهبود اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی. کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران، ایران.
۷. فیضی اصل و..، فتوت ا.، آسترکی ع.، لکزیان ا. و موسوی شلمانی ا. (۱۳۹۳) تعیین موازنۀ آبی و مراحل بحرانی آن در گندم دیم با استفاده از شاخص تنفس آبی گیاه (CWSI). آب و خاک. ۲۸(۴): ۸۰۴-۸۱۷.
۸. قربانی م.، برومدنسب س.، سلطانی محمدی ا. و مینایی س. (۱۳۹۳) برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تابستانه تحت دو نوع آبیاری سطحی و بارانی با استفاده از شاخص CWSI در شرایط اقلیمی اهواز. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۸(۴): ۶۴-۷۳.
۹. محمدی ه، برومدنسب س، نصراللهی ع.ج. و ایزدپناه ز. (۱۳۹۵) بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای ذرت روی شاخص تنفس آبی گیاه (CWSI). مجموعه مقالات دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران. دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.
10. Candogan B.K., Shncik M., Buyukcangaz H. and Demirtas C. (2013) Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [Glycine max (L.) Merr.] in sub-humid climatic conditions. Agricultural Water Management. 118: 113-121.
11. Colak Y.B., Yazar A., Colak I., Akca H. and Duraktenkin G. (2015) Evaluation of Crop Water Stress Index (CWSI) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and

مدیریت آب و آبیاری

دوره ۷ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۶