

بررسی روابط بین شاخص تنش آبی (CWSI) و عملکرد محصول ذرت در منطقه قزوین

رضا سعیدی*

۱- دکترای آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)،

قزوین، ایران. saeidi@org.ikiu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۵

چکیده

به منظور برنامه‌ریزی زمان آبیاری و تخمین عملکرد محصول از طریق شاخص CWSI، پژوهشی بر روی ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی انجام شد. تیمارها شامل اعمال تنش آبی در مراحل رشد ۶ برگی، ۱۲ برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه‌ها و یک تیمار شاهد با آبیاری کامل بود. در آستانه‌ی اعمال تنش آبی، مقادیر شاخص CWSI برای مراحل رشد مذکور به ترتیب برابر با ۰/۳۷، ۰/۵۴، ۰/۶۳ و ۰/۴۷ برآورد شد. لذا زمان انجام آبیاری در لحظه‌ی رسیدن شاخص CWSI به مقادیر فوق، توصیه شد. عملکرد زیست‌توده ذرت در تیمارهای شاهد و تحت تنش در مراحل رشد ۶ برگی، ۱۲ برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه به ترتیب برابر با ۶۰/۱، ۵۵/۵، ۴۸/۲، ۴۵/۱ و ۵۰ تن بر هکتار اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد بین شاخص CWSI و مقدار عملکرد ذرت رابطه‌ی $Y(\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}) = -20.603 \text{CWSI} + 62.049$ برقرار بود. بنابراین تخمین عملکرد محصول از روی مقدار شاخص CWSI امکان‌پذیر شد.

کلمات کلیدی: تنش آبی، دمای سطح برگ، مراحل رشد ذرت، مقاومت روزنه‌ای

مقدمه

موجب کاهش اجزای عملکرد محصول می‌گردد (۸). در تحقیقات گذشته گزارش شد که اعمال تنش آبی در مراحل مختلف رشد گیاه، تأثیر یکسانی بر کاهش عملکرد محصول نداشت. به طوری که با افزایش تنش آبی در مرحله‌ی گل‌دهی ذرت، نسبت به سایر مراحل رشد بیشترین کاهش عملکرد و بهره‌وری مصرف آب مشاهده شده است (۱). در تحقیق دیگر اعلام شد دوره‌های بحرانی تنش آبی ذرت شامل مراحل استقرار گیاهچه، دوره رشد سریع، مرحله‌ی افشانی و پرشدن دانه بود. دلیل آن فرایندهای فیزیولوژیکی متفاوت در مراحل رشد ذرت بود که باعث تأثیر متفاوت تنش بر روی عملکرد محصول می‌شد (۳۰). اعمال تنش آبی بر گیاهان، همواره با واکنش‌های گیاهی همراه بوده است. در تحقیقی گزارش شد که

کاهش رطوبت خاک و عدم تأمین به موقع آب مورد نیاز گیاهان در زراعت آبی، باعث اعمال تنش آبی بر گیاهان می‌گردد. تنش آبی فتوسنتز را از طریق بسته شدن روزنه‌ها و عدم رسیدن دی‌اکسید کربن به کلروپلاست و کاهش پتانسیل آب سلول‌های گیاهی، تحت تأثیر قرار می‌دهد (۲۳). در پژوهشی بر روی ذرت گزارش شد که در شرایط اعمال تنش آبی، هورمون آبسزیک اسید وارد اندام‌های هوایی گیاه شده و به صورت یک سیستم هشداردهنده اولیه عمل می‌نماید. در این شرایط گیاه با بستن روزنه‌های خود، اقدام به کاهش تعرق، حفظ رطوبت و جلوگیری از اتلاف آب می‌کند (۱۵). تنش آبی با تأثیر منفی بر رشد و نمو اندام‌های زایشی گیاهانی مانند ذرت،

بررسی روابط بین شاخص تنش آبی (CWSI) و عملکرد محصول ذرت در منطقه قزوین

۳۰۰-، ۳۰-۶۰ و ۶۰-۹۰ سانتی متری، نمونه خاک تهیه شد. آنالیز شیمیایی و فیزیکی بر روی نمونه‌ها، توسط آزمایشگاه خاک‌شناسی معتبر انجام شد. گیاه مورد مطالعه ذرت رقم سینگل کراس ۷۰۴ بود که در کرت‌هایی با ابعاد ۳×۳ متر و با فاصله ۲ متر از هم کاشته شد. هر کرت دارای چهار ردیف کشت جوپچه‌ای با فاصله‌ی ۷۵ سانتی متر از هم بود که به‌صورت سطحی آبیاری شد. تاریخ کاشت بذرها در هفتم تیر ماه و تراکم آن‌ها ۸۰۰۰۰ بوته در هکتار بود. بر اساس نتایج تحلیل شیمیایی خاک در جدول (۲)، مصرف کودهای نیتروژن (اوره)، سوپر فسفات تریپل، سولفات پتاسیم، گوگرد و کود دامی به‌ترتیب به‌مقدار ۳۵۰، ۲۰۰، ۲۰۰، ۲۰۰ و ۱۵۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار توسط آزمایشگاه خاک توصیه شد. کود نیتروژن در طول دوره کشت و بقیه کودها قبل از کشت به خاک اضافه شد. تیمارها شامل یک تیمار شاهد و چهار تیمار اعمال تنش آبی تا حد آستانه پژمردگی موقت گیاه (انسداد جزئی روزنه برگ‌ها) بود. در تیمار شاهد (P_C) آبیاری در حد نیاز آبی گیاه و قبل از اتمام آب سهل الوصول خاک انجام شد. در تیمارهای دیگر، تنش آبی در چهار مرحله‌ی رشد ۶ برگی (P_1)، ۱۲ برگی (P_2)، گل‌دهی (P_3) و خمیری شدن دانه‌ها (P_4) اعمال شد. تیمارها در سه تکرار و مجموعاً ۱۵ کرت، به‌صورت آزمایش فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی به اجرا درآمد (شکل ۱).

$Y = -37,170000 + 29,07$ و گزارش شد (۱۴). با توجه به این که در میان محصولات آبی، گیاه ذرت به لحاظ تأمین نیاز غذایی انسان و دام، مانند گندم، جو و برنج، دارای اهمیت استراتژیک بود، برای تحقیق در این پژوهش انتخاب شد. به‌طور کلی اهداف پژوهش حاضر در چارچوب موارد زیر خلاصه گردید.

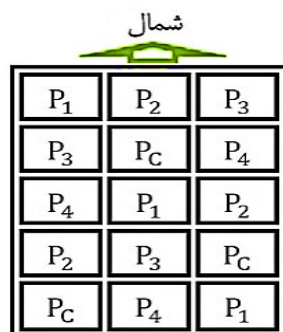
۱- برآورد شاخص CWSI در آستانه اعمال تنش آبی بر گیاه، به‌منظور تعیین زمان مناسب آبیاری ذرت در مراحل مختلف رشد

۲- تعیین رابطه‌ای بین مقدار عملکرد ذرت و شاخص CWSI، برای تخمین عملکرد محصول از طریق شاخص CWSI.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه

این پژوهش در مزرعه دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۵) در موقعیت عرض جغرافیایی "۳۲°۱۹'۳۲" شمالی، طول جغرافیایی "۰۷°۰۰'۵۰" شرقی و ارتفاع ۱۳۸۲ متر از سطح دریا انجام شد. آمار روزانه هواشناسی در طول دوره رشد گیاه از ایستگاه سینوپتیک نزدیک مزرعه جمع‌آوری شد و مقادیر ماهانه آن‌ها در جدول (۱) ارائه شد. آب مورد نیاز برای انجام آبیاری از آب چاه با هدایت الکتریکی ۰/۵ دسی‌زیمنس بر متر و اسیدیتته ۷/۲ تأمین شد. پیش از اجرای پژوهش، در ۵ نقطه از مزرعه و از اعماق



شکل ۱- شبکه تیمارها در مزرعه

جدول ۱- آمار هواشناسی

ماه	دما (سانتی گراد)		درصد رطوبت نسبی		بارندگی (میلی متر)	ساعات آفتابی	تبخیراز تشت (میلی متر)	حداکثر سرعت باد (متر بر ثانیه)
	حداقل	حداکثر	حداقل	حداکثر				
تیر	۱۳/۶	۴۰	۸	۸۵	۰	۳۷۵/۱	۳۴۱/۳	۱۴
مرداد	۱۴/۲	۴۰/۶	۹	۸۸	۰	۳۵۵/۷	۲۷۱/۹	۱۶
شهریور	۱۱	۳۶/۴	۷	۹۲	۰	۳۲۴	۲۵۶/۵	۱۰
مهر	۱	۳۲	۹	۹۴	۰	۲۸۸/۶	۱۷۰/۷	۱۵

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

نوع تجزیه	واحد	عمق خاک (سانتی متر)		
		۰-۳۰	۳۰-۶۰	۶۰-۹۰
هدایت الکتریکی	dS.m ⁻¹	۰/۵۴	۰/۶	۰/۶
اسیدیته (PH)	-	۷/۶	۷/۶	۷/۸
کربن آلی	درصد	۰/۰۶	۰/۰۹	۰/۱
ازت	درصد	۰/۰۶	۰/۱	۰/۱۲
فسفر قابل جذب	p.p.m	۴	۱	۲
پتاسیم قابل جذب	p.p.m	۲۸۸	۶۰	۶۷
بافت خاک	-	SL	SL	SL
رس	درصد	۱۰	۸	۱۱
سیلت	درصد	۳۲	۲۸/۵	۳۰
شن	درصد	۵۸	۶۳/۵	۵۹
رطوبت وزنی حد ظرفیت زراعی	درصد	۲۴/۷	۲۴	۲۴/۵
رطوبت وزنی حد پژمردگی	درصد	۱۱	۱۰/۵	۱۰/۷
جرم مخصوص ظاهری	g.cm ⁻³	۱/۵۱	۱/۵۵	۱/۵۳

داده برداری مزرعه‌ای

پس از رسیدن به مرحله‌ی رشد مورد نظر ذرت (مرحله‌ی اعمال تیمار)، داده برداری مزرعه‌ای که شامل اندازه‌گیری مقاومت روزه‌ای و دمای سطح برگ‌ها بود، در فاصله‌ی زمانی بین دو آبیاری و به صورت روزانه انجام شد. دمای سطح برگ در ساعات بین ۷ تا ۱۴ با دماسنج مادون قرمز اندازه‌گیری شد. از سوی دیگر، مقدار مقاومت روزه‌ای برگ‌ها توسط دستگاه پرومتر مدل AP^۴ اندازه‌گیری شد. داده‌های مقاومت روزه‌ای هر روز در یک ساعت

مشخص و در ساعت ۷ صبح اندازه‌گیری شد. در این زمان مقدار رطوبت خاک و مقاومت روزه‌ای برگ‌ها در یک حد متعادل قرار داشت و فاقد خطای احتمالی تحت تأثیر گرمای میانی روز بود. برای اندازه‌گیری پارامترهای مذکور، از هر کرت به طور تصادفی سه گیاه و از هر گیاه سه برگ جوان انتخاب شد. همچنین برای جلوگیری از تأثیر تابش مستقیم نور خورشید بر دمای سطح برگ گیاه، این پارامتر از چهار جهت مختلف اندازه‌گیری شد. بنابراین میانگین داده‌ها در هر کرت، معرف مقدار پارامتر مد نظر بود.

بررسی روابط بین شاخص تنش آبی (CWSI) و عملکرد محصول ذرت در منطقه قزوین

$$VPD = 10 \times \exp \left[\frac{16.78 T_a - 116.9}{T_a + 237.3} \right] \left(1 - \frac{RH}{100} \right) \quad (1)$$

در رابطه (۱)؛ VPD: کمبود فشار بخار هوا (میلی بار)، T_a : دمای هوا (سانتی‌گراد) و RH : رطوبت نسبی هوا (درصد) بود.

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

رابطه (۲) نشان‌دهنده‌ی خط مبنای پایین تنش آبی، T_c : دمای سطح برگ (سانتی‌گراد) و T_a : دمای هوا (سانتی‌گراد) بود. آندیس $L.L$ بیانگر خط پایین (Low Line) بود که در شکل (۲) نشان داده شد.

$$(T_c - T_a)_{U.L} \approx h \quad (3)$$

رابطه (۳) نشان‌دهنده‌ی خط مبنای بالای تنش آبی و h : مقدار اختلاف دمای سطح برگ و هوا در بیشترین دمای طول روز بود. آندیس $U.L$ بیانگر خط بالا (Up Line) بود که در شکل (۲) نشان داده شد.

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_S - (T_c - T_a)_{L.L}}{(T_c - T_a)_{U.L} - (T_c - T_a)_{L.L}} = \frac{SL}{LU} \quad (4)$$

در رابطه فوق، $(T_c - T_a)_S$ اختلاف دمای سطح برگ و هوا در زمان ثبت داده بود. به‌طور کلی، SL بیانگر اختلاف عددی بین $(T_c - T_a)_S$ با خط مبنای پایین و LU نشان‌دهنده مقدار اختلاف بین خط مبنای پایین و بالا بود که در شکل (۲) نشان داده شد.

شاخص تنش آبی (CWSI)

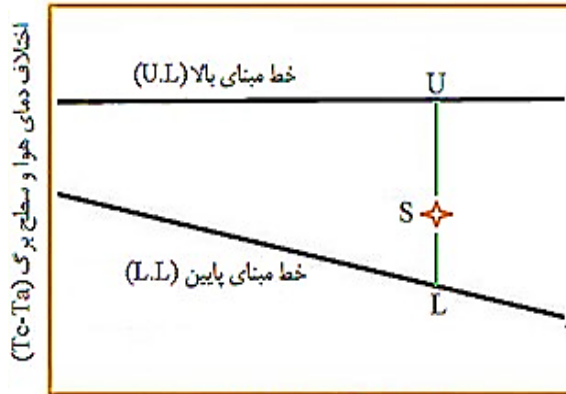
به‌منظور محاسبه‌ی خطوط مبنای پایین، بالا و شاخص تنش آبی (CWSI) برای گیاهانی که در مرحله‌ی اعمال تیمار بودند، دمای هوا، رطوبت نسبی، مقاومت روزنه‌ای و دمای سطح برگ‌ها به‌صورت روزانه اندازه‌گیری شد. از نظر زمانی، تعرق کامل گیاهان در شرایط قبل از اعمال تنش خشکی و بلافاصله پس از آبیاری کرت‌ها وجود داشت. اما با کاهش رطوبت خاک و رسیدن به حداکثر تنش آبی، حداقل تعرق ممکن (نزدیک به صفر) نیز در روز قبل از آبیاری اتفاق افتاد. با استفاده از داده‌های هواشناسی و دمای سطح برگ، کمبود فشار بخار هوا (VPD^1) با استفاده از رابطه (۱) و خط مبنای پایین تنش آبی با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد. خط مبنای پایین تنش آبی معرف شرایطی بود که هیچ‌گونه محدودیت کمبود رطوبت در ناحیه ریشه گیاه وجود نداشت و مقدار تعرق گیاه برابر با مقدار تعرق پتانسیل بود (۱۳). در این پژوهش، بیشترین تعرق (تعرق کامل) در روزهای پس از آبیاری و در تیمار بدون تنش آبی (شاهد) وجود داشت. برای ترسیم خط مبنای بالای تنش آبی (رابطه ۳)، بیشترین اختلاف دمای سطح برگ و هوا در ساعت ۱۴ روزهای اعمال تنش اندازه‌گیری شد. این خط نشان‌دهنده مکان هندسی مقادیر اختلاف دمایی (بین هوا و سطح برگ) بود که در آن شرایط، تعرق گیاه نزدیک به صفر بود. خط مبنای بالای تنش آبی را می‌توان یک مقدار ثابت دمایی (h) بر حسب درجه سانتی‌گراد و مستقل از کمبود فشار بخار در نظر گرفت (۲۵). به‌همین دلیل یک خط افقی از بین نقاط قابل برآزش بود. در نهایت، شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) از طریق رابطه (۴) محاسبه شد.

^۲- Relative Humidity

^۱-Vapor Pressure Deficit

با توجه به تحقیقات گذشته، حد آب سهل الوصول خاک در تمام مراحل رشد ذرت، بین ۴۰ تا ۸۰ درصد گزارش شد (۳ و ۷). در نتیجه برای اطمینان از این که در حساس‌ترین دوره رشد هم تنش آبی به کرت‌های شاهد وارد نشود، حداکثر حد تخلیه‌ی مجاز رطوبت خاک کرت‌ها به مقدار ۴۰ درصد در نظر گرفته شد. یعنی زمان آبیاری کرت‌های شاهد، پس از تخلیه‌ی ۴۰ درصد از مقدار رطوبت بین حد ظرفیت زراعی (FC^۳) و نقطه‌ی پژمردگی دائم (PWP^۴) بود. درصد رطوبت خاک در حد FC و PWP با استفاده از دستگاه‌های صفحات فشاری و اُون حرارتی، محاسبه و در جدول (۲) ارائه شد. به این صورت که نمونه‌های خاک مرطوب از هر کرت، به ترتیب در فشار مکشی یک سوم و ۱۵ اتمسفر قرار داده شد. سپس از تقسیم وزن آب خاک بر وزن دانه‌های خشک خاک، مقدار رطوبت محاسبه شد.

در این پژوهش با کاهش رطوبت خاک در روزهای پس از آبیاری، مقدار مقاومت روزنه‌ای گیاهان نسبت به روزهای اولیه پس از آبیاری افزایش یافت. تا قبل از اعمال اثر تنش آبی، مقدار مقاومت روزنه‌ای گیاهان شاهد و تحت تنش با هم برابر بود. اما در اثر تنش اعمال شده، به اختلاف مقاومت روزنه‌ای در گیاهان شاهد و تحت تنش (تا زمان انسداد جزئی روزنه‌ی گیاهان تحت تنش) افزوده شد. از سوی دیگر دمای سطح برگ گیاه نیز رفتاری شبیه به مقاومت روزنه‌ای داشت و با اعمال تنش آبی افزایش یافت و بیشتر از دمای هوای مجاور شد. لحظه‌ی افزایش مقاومت روزنه‌ای گیاهان تحت تنش نسبت به شاهد و افزایش دمای سطح برگ نسبت به دمای هوا، نشان‌دهنده آستانه‌ی تحمل تنش آبی توسط گیاه بود. همچنین واکنش‌های گیاهی مذکور، بیانگر اتمام آب



کمبود فشار بخار هوا (VPD)

شکل ۲- معرفی خط مبنای بالا و پایین تنش آبی

زمان انجام آبیاری

در این پژوهش رطوبت خاک عمق توسعه ریشه گیاه، به صورت روزانه با دستگاه بازتاب زمانی امواج (TDR^۱) مدل TRIME-FM اندازه‌گیری شد. قبل از شروع کشت، اعداد قرائت شده از روی دستگاه TDR نسبت به مقدار رطوبت واقعی خاک مزرعه (در عمق متوسط ریشه گیاه) واسنجی شد (شکل ۳). بنابراین در هر بار اندازه‌گیری رطوبت خاک توسط دستگاه مذکور، با قرار دادن اعداد قرائت شده (X) در رابطه‌ی $Y = 2,094X - 31,89$ ، مقدار رطوبت واقعی خاک (Y) با ضریب تبیین $R^2 = 0,978$ برآورد شد. در نشریه شماره ۵۶ آبیاری و زهکشی فائو گزارش شد هرگاه سرعت جریان آب خاک به سمت ریشه گیاه برای تأمین آب مورد نیاز تعرق کافی نباشد، آن نقطه رطوبتی حد آب سهل الوصول (RAW^۲) خاک می‌باشد (۱۹). در این نقطه رطوبتی با کاهش پتانسیل جذب آب و محدود شدن دسترسی گیاه به آب خاک، دمای سطح برگ و مقاومت روزنه‌ای برگ‌های گیاه افزایش یافت و روزنه‌ها شروع به بسته شدن نمود (۱۹). بنابراین در تیمار شاهد برای جلوگیری از اعمال تنش آبی به آن، آبیاری قبل از اتمام آب سهل الوصول خاک انجام شد.

۱- Field Capacity

۲- Permanent Wilting Point

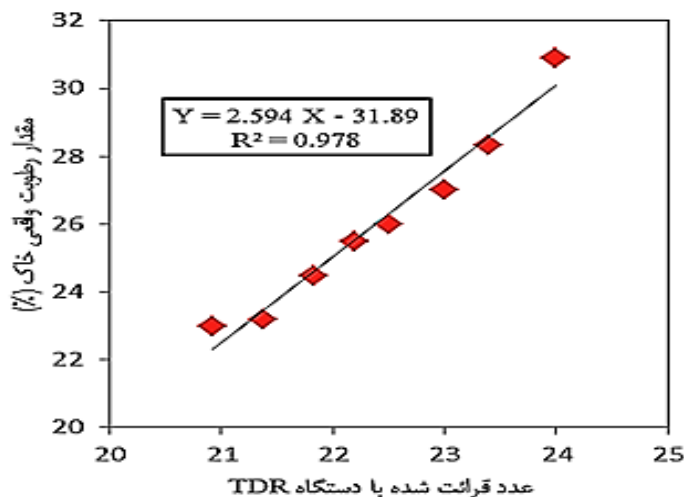
۳- Time Domain Reflect meter

۴- Readily Available Water

بررسی روابط بین شاخص تنش آبی (CWSI) و عملکرد محصول ذرت در منطقه قزوین

با توجه به اندازه‌گیری مقدار مقاومت روزنه‌ای، تنش آبی تا لحظه‌ی انسداد جزئی روزنه‌ها (پژمردگی موقت) بر گیاهان اعمال شد و سپس آبیاری کرت‌های تحت تنش انجام شد.

سهل‌الوصول خاک منطقه‌ی ریشه، کاهش پتانسیل جذب آب و اثرگذاری تنش آبی بر گیاهان بود. اما در خصوص کرت‌هایی که در مرحله‌ی اعمال تیمار بودند، تنش آبی در مراحل رشد ۶ برگ، ۱۲ برگ، گل‌دهی و خمیری شدن دانه‌ها بر گیاهان اعمال شد.



شکل ۳- واسنجی دستگاه رطوبت سنج

اندازه‌گیری عملکرد محصول و تحلیل آماری در تاریخ ۲۸ مهرماه عملیات برداشت محصول انجام شد. برای حصول اطمینان از نبود اثر حاشیه‌ای در کرت‌ها، از چهار جویچه‌ی موجود در هر کرت، دو جویچه‌ی جانبی کنار گذاشته شده و برداشت محصول از دو جویچه‌ی وسط انجام شد. همچنین با توجه به طول سه متری جویچه‌ها، یک متر میانی برای این کار انتخاب شد. به دلیل هدف برداشت علوفه‌ای محصول ذرت، بوته‌ها از کف زمین بریده شد و برای اندازه‌گیری وزن خشک آن‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شدند. برای این منظور، بوته‌ها به مدت ۴۸ ساعت در گرم‌خانه و در دمای ۷۲ درجه کاملاً خشک شده و سپس وزن آن‌ها اندازه‌گیری شد. در این پژوهش تیمارهای مورد نظر شامل اعمال تنش آبی تا حد توقف تعرق گیاه، در مراحل مختلف رشد ذرت بود. بنابراین با توجه به تفاوت عملکرد محصول و سایر

تعیین حجم آب آبیاری

حجم آب آبیاری برای هر کرت، با توجه به مقدار کمبود رطوبت خاک تا حد FC، عمق ریشه گیاه و مساحت کرت، بر اساس رابطه (۵) تعیین شد. مقدار حجم آب ورودی به هر کرت با کنتور حجمی اندازه‌گیری شد. آب از منبع مورد نظر توسط لوله به کرت‌ها انتقال داده شد و آبیاری به صورت سطحی، بدون تلفات و با بازده صد در صد انجام شد.

$$V = \frac{(\theta_{FC} - \theta_i)}{100} \cdot \rho_b \cdot D_{rz} \cdot A \quad (5)$$

V: حجم آب آبیاری (m^۳)، θ_{FC} : درصد رطوبت وزنی خاک در نقطه ظرفیت زراعی، θ_i : درصد رطوبت وزنی خاک در زمان آبیاری، ρ_b : چگالی ظاهری خاک (gr/cm^۳)، D_{rz} : عمق ریشه گیاه (m) و A: مساحت کرت (m^۲) بود.

پارامترها در تیمارها، تجزیه واریانس و مقایسه میانگین داده‌ها توسط نرم‌افزار SPSS و با آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد.

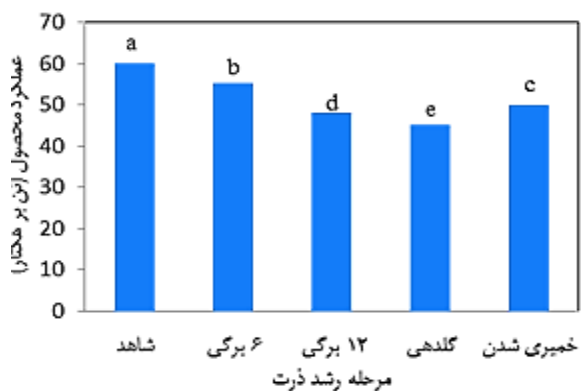
نتایج و بحث

عملکرد محصول

بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها در آزمون دانکن (جدول ۳)، تأثیر تنش آبی در مراحل مختلف رشد، بر عملکرد ذرت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. تنش آبی منجر به مقادیر متفاوت کاهش عملکرد محصول ذرت، در مراحل مختلف رشد شد. مقدار عملکرد وزن تر محصول در تیمارهای شاهد و مراحل رشد ۶ برگی، ۱۲ برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه به‌ترتیب برابر با ۶۰/۱، ۵۵/۵، ۴۸/۲ و ۴۵/۱ تن بر هکتار اندازه‌گیری شد (شکل ۴). بیشترین تا کمترین مقدار عملکرد محصول به‌ترتیب مربوط به تیمارهای شاهد، ۶ برگی، خمیری شدن دانه، ۱۲ برگی و گل‌دهی بود (جدول ۴). نتایج به‌دست آمده نشان داد به‌دلیل تأمین آب مورد نیاز گیاه قبل از اتمام آب‌سهل‌الوصول خاک، تیمار شاهد دارای بیشترین عملکرد محصول بود. اولویت دوم عملکرد ذرت متعلق به تیمار اعمال تنش آبی در مرحله رشد ۶ برگی بود. به‌دلیل ساختار فیزیولوژیکی گیاه ذرت، اعمال تنش آبی در مرحله مذکور تأثیر چندانی بر کاهش عملکرد نهایی ذرت نداشت. به‌طوری که فقط میزان ۷/۶ درصد از عملکرد محصول، در اثر این تیمار کاسته شد. از سوی دیگر تنش وارده در این مرحله از رشد، در مراحل دیگر رشد توسط گیاه قابل‌جبران بود و حتی باعث مقاوم‌سازی گیاه به تنش‌های آبی نیز می‌شد. در مرحله خمیری شدن دانه، تقریباً دانه‌ها به آستانه پرشدن و رسیدگی نزدیک شد. اثر تنش آبی اعمال شده در این مرحله از رشد، صرفاً بر عملکرد دانه مشهود بود و تأثیر چندانی

بر عملکرد سایر اجزای زیست توده گیاه نداشت. از این‌رو اولویت سوم مقدار عملکرد به تیمار خمیری شدن دانه اختصاص یافت و میزان ۱۶/۸ درصد از عملکرد گیاه نسبت به تیمار شاهد کاهش یافت. در تیمار مرحله رشد ۱۲ برگی (رشد رویشی)، تنش آبی اثر محسوسی بر کاهش عملکرد محصول به‌واسطه توقف تعرق گیاه و رشد اندام‌های گیاهی داشت. این مرحله از رشد شامل رشد و گسترش سریع پوشش سبز ذرت بود که اعمال تنش آبی منجر به کاهش ۲۰ درصدی عملکرد محصول شد. کمترین مقدار عملکرد نیز متعلق به مرحله‌ی گل‌دهی و گرده‌افشانی ذرت بود. این مرحله، حساس‌ترین مرحله رشد گیاه بود و تنش آبی در این زمان باعث عقیم شدن گیاه و کاهش عملکرد دانه‌ها گردید. به‌طوری کلی مقدار کاهش عملکرد محصول در مراحل رشد ۶ برگی، ۱۲ برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه به‌ترتیب ۷/۷، ۲۰، ۲۵ و ۱۶/۷ درصد نسبت به گیاه شاهد بود. بنابراین حساسیت مراحل مختلف رشد ذرت به تنش آبی، برای اعمال مدیریت‌های کم‌آبایی مشخص گردید. در تحقیقات مشابه تأثیر کم‌آبایی ذرت در مراحل مختلف رشد بررسی شد. نتایج نشان داد کم‌آبایی در مرحله‌ی پر شدن دانه تأثیر معناداری بر رشد گیاه و تولید نداشت (۲۱). در تحقیق دیگر گزارش شد تنش آبی در اوایل رشد رویشی ذرت، تولید ماده خشک گیاه را به‌مقدار کمی کاهش داد. ولی در اواخر رشد و در مرحله گل‌دهی، تأثیر زیادی بر کاهش شاخص رشد گیاه داشت (۳۱). در تحقیقی مقدار عملکرد ماده خشک ذرت علوفه‌ای در شرایط تأمین ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه، به‌ترتیب ۲۱۵۶۰، ۱۹۵۰۰ و ۱۲۵۶۰ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (۹). در تحقیق

بررسی روابط بین شاخص تنش آبی (CWSI) و عملکرد محصول ذرت در منطقه قزوین



شکل ۴- عملکرد محصول ذرت تحت تنش آبی در مراحل مختلف رشد

جدول ۳- تجزیه واریانس صفات مورد بررسی

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییر
شاخص CWSI	عملکرد		
۶- ns			
۱۲/۶×۱۰	۰/۵۱۷ ^{ns}	۲	تکرار
۰/۱۵ ^{**}	۱۰۷/۴۵ ^{**}	۴	مراحل رشد
۲/۱۸×۵-۱۰	۰/۲۵۵	۸	خطا

ns و **: به ترتیب غیرمعنی داری و معنی داری در سطح احتمال یک درصد

جدول ۴- مقایسه میانگین اثر تنش آبی بر عملکرد

محصول و شاخص CWSI		تیمار
شاخص CWSI	عملکرد (تن بر هکتار)	
۰/۰۵ ^e	۶۰/۱ ^a	P _C
۰/۳۷ ^d	۵۵/۴ ^b	P _۱
۰/۵۴ ^b	۴۸/۲ ^d	P _۲
۰/۶۳ ^a	۴۵/۱ ^e	P _۳
۰/۴۷ ^c	۵۰ ^c	P _۴

شاخص CWSI

در این پژوهش شاخص CWSI از طریق رابطه (۴) و به صورت روزانه، در مراحل مختلف رشد ذرت محاسبه شد. واکنش‌های گیاهی در برابر اعمال تنش آبی که شامل افزایش دمای سطح برگ و مقاومت

دیگر بر روی ذرت، اثر تنش خشکی در مرحله رشد رویشی (قطع آبیاری از ۸ برگ تا گل‌دهی)، مرحله گل‌دهی (قطع آبیاری در طول دوره ۲۰ روزه) و تنش در مرحله پر شدن دانه (قطع آبیاری از پایان گل‌دهی تا رسیدن فیزیولوژیک) بررسی شد. نتایج نشان داد حساس‌ترین عملکرد بیولوژیک ذرت به تنش خشکی، در مرحله گل‌دهی اتفاق افتاد (۶). در تحقیقی هم گزارش شد نیاز رطوبتی ذرت در مراحل اولیه رشد رویشی کم، ولی با افزایش تعداد برگ‌ها افزایش یافت. حساس‌ترین مرحله رشد ذرت نسبت به تنش خشکی در مرحله گل‌دهی، گرده افشانی و تلقیح بود (۳۳). در تحقیقی بر روی ذرت، تنش خشکی شامل سه سطح؛ حذف یک مرحله آبیاری در دوره ۴ تا ۶ برگه، حذف یک مرحله آبیاری در زمان گرده افشانی و حذف یک مرحله آبیاری در زمان دانه‌بندی، اعمال شد. نتایج نشان داد مقدار کاهش عملکرد بیولوژیک تحت تأثیر تنش آبی در مراحل رشد رویشی، گل‌دهی و دانه‌بندی به ترتیب ۳۲/۸۲، ۳۸/۰۹ و ۱۸/۴۹ درصد بود. اعمال تنش آبی در مرحله دانه‌بندی و گل‌دهی به ترتیب کمترین و بیشترین اثر را بر مقدار عملکرد بیولوژیک ذرت داشت. به‌طور معمول در محاسبات مربوط به عملکرد بیولوژیک، وزن دانه مقدار کمی از وزن کل زیست توده گیاه را شامل می‌شود. بنابراین تنش‌های خفیف رطوبتی در مرحله شیری یا پر شدن دانه ذرت، تأثیر چندانی بر عملکرد بیولوژیک محصول نداشت (۱۷). در تحقیقات دیگر نیز گزارش شد که مرحله گل‌دهی حساس‌ترین مرحله رشد ذرت به تنش خشکی بود (۲۸ و ۳۲). در تحقیق دیگر بر روی ذرت، بیشترین بهره‌وری مصرف آب زمانی حاصل شد که تنش آبی در مرحله رشد رویشی اعمال شد. همچنین بیشترین کاهش عملکرد در اثر تنش آبی، در مرحله گل‌دهی و گرده افشانی ذرت اتفاق افتاد (۲۹).

روزنه‌ای گیاه بود، به‌عنوان معیاری در تعیین حد آستانه تحمل گیاه به تنش آبی مورد توجه قرار گرفت. بنابراین مقادیر شاخص CWSI در لحظه‌ی افزایش دمای سطح برگ نسبت به دمای هوا، به‌عنوان مقادیر بحرانی این شاخص (در زمان اعمال و اثرگذاری تنش آبی بر گیاه)، بررسی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، تأثیر تنش آبی در مراحل مختلف رشد، بر مقدار شاخص CWSI در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود. ساختار فیزیولوژیکی و آستانه‌ی متفاوت تحمل تنش آبی در مراحل مختلف رشد ذرت، منجر به برآورد مقادیر متفاوت شاخص CWSI شد. در مراحل رشد ۶ برگی، ۱۲ برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه، مقدار شاخص CWSI به‌ترتیب در محدوده‌ی ۰/۱۶-۰/۶، ۰/۲۱-۰/۰، ۰/۴-۰/۷ و ۰/۲۴-۰/۵۵ محاسبه شد. مقادیر بحرانی شاخص CWSI در مراحل رشد مذکور به‌ترتیب برابر با ۰/۳۷، ۰/۵۴، ۰/۶۳ و ۰/۴۷ بود (جدول ۴). تفاوت مقدار شاخص CWSI، نشان‌دهنده‌ی تأثیر متفاوت تنش آبی بر مقدار دمای بحرانی سطح برگ در مراحل مختلف رشد بود. لذا مقادیر مذکور می‌توانست به‌عنوان حد آستانه تحمل گیاه به تنش آبی، در برنامه‌ریزی‌های آبیاری ذرت در منطقه‌ی قزوین مد نظر قرار گیرد. در تحقیقات گذشته نیز شاخص CWSI به‌عنوان مبنایی موفق برای تشخیص آستانه ورود تنش رطوبتی بر گیاه و تشخیص زمان آبیاری معرفی شد (۳۷). در تحقیقی در منطقه ارومیه، متوسط شاخص CWSI طی دوره رشد ذرت برای تیمارهای ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به‌ترتیب ۰/۵۳، ۰/۴۴ و ۰/۲۸ محاسبه شد. نتایج تحقیق مذکور نشان داد با کاهش آب مورد نیاز گیاه در خاک، شاخص CWSI افزایش یافت (۴). در تحقیق دیگر با چهار تیمار ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی گیاه، قابلیت شاخص CWSI برای

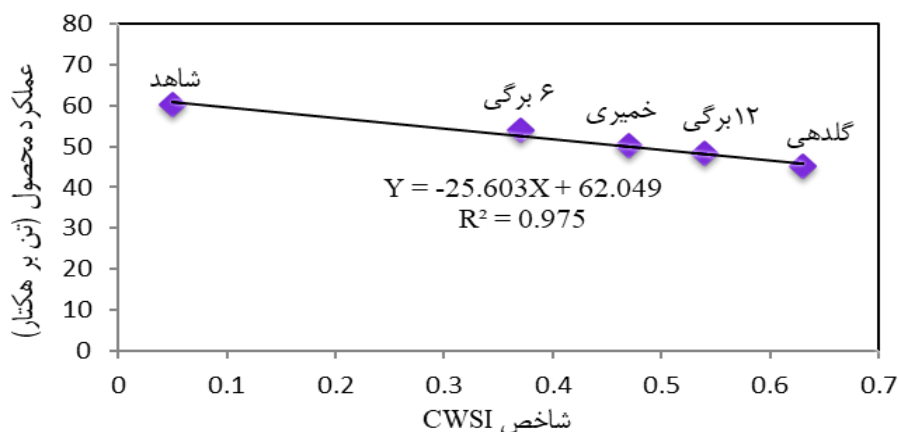
برنامه‌ریزی آبیاری ذرت علوفه‌ای در منطقه خرم آباد بررسی شد. نتایج نشان داد در تیمارهای مذکور مقدار شاخص CWSI به‌ترتیب برابر با ۰/۱۷، ۰/۲۱، ۰/۲۹ و ۰/۳۹ بود. با افزایش تنش آبی، مقدار شاخص CWSI افزایش یافت و مقدار شاخص CWSI به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر مقدار تنش آبی قرار داشت (۹). به‌طور کلی نتایج بررسی مقادیر شاخص CWSI در این پژوهش نشان داد که در شرایط اعمال تنش آبی، توان جذب آب توسط گیاه از خاک و به تبع آن میزان تعرق گیاه، در مراحل مختلف رشد ذرت متفاوت بود. همچنین شاخص CWSI به‌عنوان معیاری برای تشخیص لحظه‌ی ورود تنش آبی بر گیاه و زمان انجام آبیاری معرفی شد.

روابط بین شاخص CWSI و عملکرد محصول با توجه به تأثیر تنش آبی بر کاهش تعرق و فتوسنتز گیاه، تنش مذکور عاملی برای کاهش عملکرد محصول بود. با افزایش تنش آبی، شاخص CWSI افزایش و عملکرد محصول کاهش یافت. لذا یک رابطه‌ی مستقیم و معکوس بین دو پارامتر CWSI و عملکرد وجود داشت. از این‌رو تخمین عملکرد محصول ذرت از روی مقدار شاخص CWSI در مراحل مختلف رشد، از طریق یک مدل تجربی امکان‌پذیر بود. سادگی مدل پیشنهادی و سهولت کاربرد از نکات ضروری در پژوهش بود، بنابراین از مدل ساده‌ی خطی برای مدل‌سازی استفاده شد. نتایج نشان داد رابطه $Y(\text{ton} \cdot \text{ha}^{-1}) = -$ $۶۲,۰۴۹ + ۲۵,۶۰۳ \text{CWSI}$ با ضریب همبستگی ۰/۹۷۵ بین شاخص CWSI و مقدار عملکرد نهایی محصول ذرت، در منطقه قزوین برقرار بود (شکل ۵). شدت کاهش عملکرد ذرت نسبت به مقدار شاخص CWSI، از روند زمانی در طول دوره رشد گیاه برخوردار نبود. بلکه حساسیت مرحله‌ی رشد گیاه، تعیین‌کننده‌ی شیب کاهش عملکرد محصول بود.

بررسی روابط بین شاخص تنش آبی (CWSI) و عملکرد محصول ذرت در منطقه قزوین

(۱۶). در تحقیق دیگر با هدف بررسی اثر تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری ذرت، پژوهشی تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در شمال خوزستان انجام شد. نتایج نشان داد بین شاخص CWSI و مقدار عملکرد دانه ذرت (Y_g)، رابطه خطی $Y_g = -13,196CWSI + 10,925$ وجود داشت (۲). در تحقیقی نیز با اعمال رژیم‌های مختلف آبیاری در کل دوره رشد ذرت، رابطه خطی $Y_{ield} = -40,233CWSI + 27,921$ بین مقادیر شاخص CWSI و عملکرد نهایی ذرت علوفه‌ای در منطقه خرم آباد گزارش شد (۹). در تحقیقات گذشته، صرفاً به بررسی رابطه بین شاخص CWSI و عملکرد ذرت، تحت رژیم‌های مختلف آبیاری در کل دوره رشد گیاه پرداخته شده بود. در حالی که حساسیت مراحل مختلف رشد گیاه در نظر گرفته نشده بود. اما مدل خطی ارائه شده در این پژوهش، ضمن در نظر داشتن حساسیت گیاه در مراحل مختلف رشد، برآورد مقدار عملکرد محصول ذرت را در منطقه مورد مطالعه بر عهده داشت.

افزایش شاخص CWSI، موجب کاهش عملکرد و نزدیک شدن شاخص CWSI به عدد صفر، باعث نزدیکی عملکرد واقعی محصول به عملکرد پتانسیل منطقه بود. دستاورد کاربردی پژوهش این بود که به دلیل تعمیم مدل پیشنهادی در هر مرحله از رشد گیاه، می‌توان با استفاده از شاخص تنش آبی عملکرد محصول را تخمین زد. در تحقیقات گذشته نیز گزارش شد که شاخص CWSI علاوه بر داشتن همبستگی بالا با وضعیت آبی گیاه، با عملکرد محصول نیز همبستگی خوبی داشت (۲۷، ۳۴ و ۳۶). در تحقیقی با سه تیمار آبیاری گیاه بر اساس ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در کشت ذرت، رابطه‌ای بین شاخص CWSI و عملکرد بلال (Y_g)، بیومس (Y_b) و دانه ذرت (Y_m) ارائه شد. روابط مذکور در قالب توابع درجه ۲ و خطی به ترتیب برابر با $Y_g = -0,02CWSI^2 + 16,39CWSI + 6,94$ و $Y_b = -35,24CWSI + 26,45$ و $Y_m = -51,65CWSI^2 + 16,52CWSI + 8,91$ برآورد شد.



شکل ۵- ارتباط بین عملکرد محصول ذرت و شاخص CWSI در مراحل مختلف رشد

برنامه‌ریزی آبیاری استفاده نمود. افزایش دمای سطح برگ، یک واکنش گیاهی به اعمال تنش آبی می‌باشد که در قالب شاخص تنش آبی (CWSI) مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش تنش آبی تا

نتیجه‌گیری

از واکنش‌های گیاهی می‌توان به‌عنوان ابزاری برای تشخیص آستانه‌ی تحمل گیاه به تنش آبی و

مقدار عملکرد محصول ذرت برآزش داده شد. همچنین به دلیل تعمیم مدل مذکور در مراحل مختلف رشد گیاه، می‌توان با اطمینان بیشتری عملکرد محصول را از روی شاخص CWSI تخمین زد. نتایج نشان داد در صورت اعمال یک حد برابر از تنش آبی در کل دوره‌ی رشد ذرت، تنش وارده در مراحل حساس مانند گل‌دهی، باعث کاهش عملکرد بیشتری شد. بنابراین برای مدیریت کم‌آبایی باید زمانی از دوره‌ی رشد را انتخاب نمود که کم‌ترین کاهش عملکرد محصول را در پی داشته باشد. نتیجه‌ی کلی این‌که شاخص CWSI می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مفید در تعیین زمان آبیاری گیاه و تخمین عملکرد محصول، توسط برنامه‌ریزان آبیاری مورد توجه قرار گیرد.

نقطه‌ی پژمردگی موقت در مراحل رشد ۶ برگی، ۱۲ برگی، گل‌دهی و خمیری شدن دانه بر روی ذرت اعمال شد. در مراحل رشد مذکور، شاخص CWSI به‌صورت روزانه و عملکرد محصول در پایان فصل کشت اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد در آستانه تحمل گیاه به تنش آبی مقادیر شاخص CWSI در مراحل رشد مذکور به ترتیب برابر با ۰/۳۷، ۰/۵۴، ۰/۶۳ و ۰/۴۷ برآورد شد و مقدار عملکرد وزن تر محصول نیز به ترتیب برابر با ۶۰/۱، ۵۵/۵، ۴۸/۲ و ۴۵/۱ تن بر هکتار اندازه‌گیری شد. با افزایش تنش آبی، مقدار شاخص CWSI افزایش و عملکرد محصول کاهش یافت. از این‌رو رابطه‌ی $Y(\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}) = -25,603 \text{CWSI} + 62,049$ با ضریب همبستگی ۰/۹۷۵، بین شاخص CWSI و

منابع

۱. اکبری نوده‌ی، د. ۱۳۹۶. تأثیر تنش خشکی در مراحل مختلف رشد بر عملکرد و بهره‌وری مصرف آب ذرت. مجله مدیریت آب و آبیاری. ۷(۲): ۳۰۵-۳۱۸.
۲. برومندنسب، س. طاهری قناد، س. و م. معیری. ۱۳۸۳. استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط شمال خوزستان. مجله علمی کشاورزی. ۲۷: ۴۷-۵۶.
۳. جاراللهی، ر. ۱۳۸۰. تعیین ضریب آب سهل‌الوصول در مراحل مختلف رشد برای ذرت دانه‌ای در کرج. مجله علوم آب و خاک. ۱۵(۲): ۲۹۸-۲۹۰.
۴. خورسند، ا. رضا وردی‌نژاد، و. عسگرزاده، ح. مجنون‌هی هریس، ا. رحیمی، ا. بشارت، س. و ع. ا. صدرالدینی. ۱۳۹۸. تعیین شاخص تنش آبی (CWSI) جهت تشخیص زمان تنش آبی محصول ذرت در منطقه ارومیه. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰(۴): ۸۸۴-۸۷۳.
۵. دهقانی سانیچ، ح. نخجوانی مقدم، م. م. و ب. قهرمان. ۱۳۹۶. کاربرد شاخص تنش آبی گیاه برای زمان‌بندی تک آبیاری گندم دیم. مجله آبیاری و زهکشی ایران. ۴(۱۱): ۵۶۱-۵۵۲.
۶. ربانی، ج. و ی. امام. ۱۳۹۰. پاسخ عملکرد دانه هیبریدهای ذرت به تنش خشکی در مراحل مختلف رشد. مجله تولید و فراوری محصولات زراعی و باغی. ۱(۲): ۷۸-۶۵.
۷. رضا وردی‌نژاد، و. بشارت، س. عبقری، ه. و ح. احمدی. ۱۳۹۰. برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی ذرت علوفه‌ای در مراحل مختلف رشد با استفاده از اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا. مجله آب و خاک. ۲۵(۶): ۱۳۴۴-۱۳۵۲.

بررسی روابط بین شاخص تنش آبی (CWSI) و عملکرد محصول ذرت در منطقه قزوین

۸. رضایی‌راد، ه. هوشمند، ع. ناصری، ع. ع. و م. ر. سیاهپوش. ۱۳۹۵. تأثیر تنش خشکی بر شاخص‌های فیزیولوژیکی و عملکرد ذرت در حضور سطح ایستایی کم عمق در شرایط اقلیمی اهواز. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹(۱): ۵۵-۶۶.
۹. سعیدی‌نیا، م. نصراللهی، ع. ح. و م. شریفی پور. ۱۳۹۸. بررسی توانایی شاخص تنش آبی گیاه در برنامه‌ریزی آبیاری و برآورد میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای. مجله تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰(۳): ۵۵۵-۵۶۵.
۱۰. عنابی میلانی، ا. نیشابوری، م. ر. مصدقی، م. ر. و د. زارع حقی. ۱۳۹۵. روابط بین پتانسیل آب برگ، تنش-درجه-روز و تخلیه آب قابل استفاده در درخت بادام تحت تنش شوری. مجله دانش آب و خاک. ۲۶(۱/۲): ۱۸۹-۲۰۶.
۱۱. فیضی اصل، و. فتوت، ا. آستارایی، ع. لکزیان، ا. و م. ا. موسوی شلمانی. ۱۳۹۳. تعیین موازنه آبی و مراحل بحرانی آن در گندم دیم با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه (CWSI). مجله آب و خاک. ۲۸(۴): ۸۰۴-۸۱۷.
۱۲. قربانی، م. برومندنسب، س. و ا. سلطانی محمدی. ۱۳۹۵. بررسی اثر شوری آب در آبیاری بارانی بر میزان شاخص CWSI برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تابستانه. فصلنامه علوم و مهندسی آبیاری. ۳۹(۳): ۶۳-۷۱.
۱۳. قربانی، م. و س. برومندنسب. ۱۳۹۵. بررسی اثر شوری آب در آبیاری سطحی بر میزان شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تابستانه. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. ۷(۲۵): ۵۴-۶۷.
۱۴. لالوند، پ. نصراللهی، ع. ح. خرمیان، م. و سعیدی‌نیا، م. ۱۳۹۹. ارزیابی شاخص CWSI برای سه رقم ذرت تحت رژیم‌های آبیاری قطره‌ای (اراضی شمال خوزستان). مجله حفاظت منابع آب و خاک. ۹(۴): ۷۰-۵۷.
۱۵. ماهرخ، ع. نبی پور، م. روشنفکر، ح. و چوکان، ر. ۱۳۹۸. واکنش برخی صفات فیزیولوژیکی ذرت دانه‌ای به تنش خشکی و کاربرد هورمون‌های سیتوکنین و اکسین. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۲(۱): ۱-۱۵.
۱۶. محمدی، ه. ۱۳۹۲. برنامه‌ریزی آبیاری ذرت بهاره تحت آبیاری قطره‌ای با استفاده از دامسج مادون قرمز در شرایط اقلیمی اهواز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۷. محمدی بهمدی، م. و م. آرمین. ۱۳۹۶. اثر تنش خشکی بر عملکرد و اجزای عملکرد ارقام مختلف ذرت در شرایط کشت تأخیری. مجله تحقیقات کاربردی اکوفیزیولوژی گیاهی. ۴(۱): ۱۷-۳۴.
۱۸. Acevedo, E. Silva, P. and H. Silva. 2002. Wheat growth and physiology. P: 53-89.
۱۹. Ilen, R. G. Pereira, L. S. Raes, D. and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation Drainage Paper No.56: 1-326.
۲۰. Candogan, B. K. Shncik, M. Buyukcangaz, H. and C. Demirtas. 2013. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean in sub-humid climatic conditions. Agricultural Water Management. 118: 113-121.
۲۱. Farre I. and J. M. Faci. 2009. Deficit irrigation in maize for reducing agricultural water use in a Mediterranean environment. Agricultural Water Management. 96: 383-394.

A

۲۲. Gonzalez Dugo, M. P. Moran, M. S. Mateos, L. and R. Bryant. 2005. Canopy temperature variability as an indicator of crop water stress severity. *Irrigation Science*. 24: 233-240.
۲۳. Hüner, N. P. and W. G. Hopkins. 2008. *Introduction to Plant Physiology*: Wiley, New York.
۲۴. Idso, S. B. Jackson, R. D. Pinter, P. J. Reginato, R. J. and J. L. Hatfield. 1981. Normalizing the stress degree-day parameter for environmental variability. *Agric, Meteorol.* 24: 45-55.
۲۵. Idso, S. B. 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*. 27(1-2): 59-70.
۲۶. Lawlor, D. W. and C. Cornic. 2002. Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, Cell and Environment*. 25(2): 275-294.
۲۷. Lopez, L. R. Arteaga, R. R. Sanchez, C. I. Ojeda, B. W. and L. V. Gonzalez. 2011. Evapotranspiration and Crop Water Stress Index in Mexican Husk Tomatoes. *Physalis Ixocarpa Brot.* 187-210
۲۸. Lu, D. Cai, X. Zhao, J. Shen, X. and W. Lu. 2015. Effects of drought after pollination on grain yield and quality of fresh waxy maize. *Science of Food and Agriculture*. 95: 210-215.
۲۹. Mansourifar, C. Modarres Sanavy, S. A. M. and S. F. Saberali. 2010. Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management*. 97:12-22.
۳۰. Nielsen, R. L. 2002. Drought and heat stress effects on corn pollination. *Agricultural (Purdue)*. ۱۹۶: ۱۹-۲۵.
۳۱. Pandey, R. K. Maranville, J. W. and M. M. Chetima. 2000. Deficit irrigation and nitrogen effects on maize in a Sahelian environment. II. Shoot growth. *Agricultural Water Management*. 46: 15-27.
۳۲. Sabiel, S. A. Abdelmula, A. A. Bashir, E. M. Baloch, S. U. and S. Khan. 2014. Genetic variation of flowering trait in maize (*Zea mays* L.) under drought stress at vegetative and reproductive stages. *Biological Agriculture Healthcare*. 4: 108-113.
۳۳. Smith, C. W. and J. Betran. 2004. *Corn: origin, history, technology, and production* (Vol. 4): John Wiley & Sons.
۳۴. Sneha, C. Santhoshkumar, A. V. and K. M. Sunil. 2013. Quantifying water stress using crop water stress index in mahogany (*Swietenia macrophylla* King) seedlings. *Current Sci.* 104 (3): 348-351.
۳۵. Unlu, M. Kanber, R. Kapur, B. Tekin, S. and D. L. Koç. 2011. The crop water stress index (CWSI) for drip irrigated cotton in a semi-arid region of Turkey. *Biotechnology*. 10(12): 2258-2273.
۳۶. Wirya Alongkorn, W. Spreer, W. Ongaprasert, S. Spohrer, K. Pankasemsuk, T. and J. Müller. 2013. Detecting drought stress in longan tree using thermal imaging. *Maejo Int. Sci. Technol.* 7 (1): 166-180.
۳۷. Zia, S. Spohrer, K. Du, W. Spreer, W. Romano, G. He, X. and J. Müller. 2011. Monitoring physiological responses to water stress in two maize varieties by infrared thermography. *Agricultural and Biological Engineering*. 4(3): 7-15.

Investigating the relationship between water stress index (CWSI) and yield of maize in Qazvin region

Abstract

In order to scheduling the irrigation time and estimation the crop yield with CWSI index, a research was done on maize (S.C. 704). The experiment was performed as factorial in a randomized complete block design. Treatments were included the water stress in growth stages of 6-leaf, 12-leaf, flowering, seeds doughing and a control treatment with full irrigation. At the threshold of water stress, CWSI index values for the above growth stages were estimated to be 0.37, 0.54, 0.63 and 0.47, respectively. Therefore, irrigation time was recommended when the CWSI index reached to the above values. Maize biomass yield in control and stress treatments at growth stages of 6-leaf, 12-leaf, flowering and seeds doughing, was measured equal to 60.1, 55.5, 48.2, 45.1 and 50 (t.ha⁻¹), respectively. The results showed there was a relationship of $Y(t.ha^{-1}) = -25.603CWSI + 62.049$ between the CWSI index and maize yield. Therefore, crop yield was estimated by the amount of CWSI index.

Keywords: *Leaf surface temperature, Maize growth stages, Stomatal resistance, Water stress*