

مقاله علمی-پژوهشی

برنامه‌ریزی آبیاری ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص CWSI در شرایط اقلیمی اهواز

ستار جلیلیان^{۱*}، امیر سلطانی محمدی^۲، سعید برومند نسب^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۴/۱۹

چکیده

استفاده از دمای پوشش سبز برای برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان یکی از روش‌هایی است که مورد توجه محققین قرار گرفته است. برای این منظور شاخص‌های متعددی ارائه شده است که از بین آن‌ها می‌توان به شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو اشاره کرد. به منظور برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تابستانه در شرایط اقلیمی اهواز با استفاده از دمای پوشش سبز، چهار نوع رژیم آبیاری شامل I_0 ، I_1 ، I_2 ، I_3 به ترتیب ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه در قالب یک طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. بر اساس نتایج، معادله خط مبنای بالا و پایین به ترتیب برای گیاه ذرت، برای تیمار I_1 (۱۰۰ درصد نیاز آبی) برای مرحله توسعه برابر $2/89$ و $1.984-0.0946VPD$ ، برای مرحله میانی برابر $3/4$ و $3.217-(Tc-Ta)_{I1}$ و $0.1669VPD$ و برای مرحله نهایی رشد برابر $1/2$ و $1.147-0.160VPD$ $(Tc-Ta)_{I1}$ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. شاخص تنش آبی کل دوره رشد برای تیمارهای ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ به ترتیب برابر $0/17$ ، $0/22$ ، $0/35$ و $0/52$ محاسبه شد. رابطه شاخص تنش آبی گیاه و میزان رطوبت خاک برای تیمارهای مختلف آبیاری از همبستگی بالایی برخوردار بود و معادله شاخص تنش آبی با رطوبت خاک برای تیمار I_1 برای روز بعد و قبل از آبیاری به ترتیب برابر $CWSI=1.8296-0.0586\theta_v$ و $CWSI=1.038-0.0281\theta_v$ به دست آمد. نتایج تحقیق نشان داد که با کاهش آب مصرفی، شاخص تنش آبی گیاه افزایش می‌یابد و با افزایش تنش آبی همبستگی بین شاخص $CWSI$ و عمق آب موجود در خاک کاهش یافته به طوری که بیشترین R^2 (۰/۹۷) در تیمار I_0 و کمترین R^2 (۰/۸۸) در تیمار I_2 و I_3 بود. در نهایت نتایج این تحقیق تایید می‌کند شاخص تنش آبی گیاه ابزار مناسبی جهت برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت بهینه آن در مزرعه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: اهواز، برنامه‌ریزی آبیاری، دماسنج مادون قرمز، ذرت، شاخص تنش آبی

مقدمه

کامبود رطوبت در خاک و تنش آبی گیاه، بلافاصله در خود گیاه ظاهر می‌شود لذا تعیین رابطه بین شاخص‌های گیاهی و رطوبت موجود در خاک برای تعیین زمان آبیاری لازم است. یکی از این شاخص‌ها که نشان دهنده تنش در گیاه است، دمای پوشش سبز گیاه می‌باشد (کوچکی و همکاران، ۱۳۷۴).

بررسی پدیده تنش آبی گیاهان با شاخص‌های متعددی ارائه شده است که برای محاسبه این شاخص‌ها نیاز به اندازه‌گیری درجه حرارت برگ و هوا می‌باشد. یکی از معتبرترین شاخص‌ها، شاخص تنش آبی ایدسو^۴ می‌باشد (برومندنسب و همکاران، ۱۳۸۳). برای درک بهتر شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو، ابتدا به معرفی خط مبنای پایینی و بالایی تنش اقدام می‌گردد تا بر این اساس این دو خط مبنای شاخص تنش آبی گیاه قابل تعریف باشد. خط مبنای پایینی معرف شرایطی است که در آن، گیاه از نظر تامین آب از ناحیه ریشه با هیچ محدودیتی روبرو نبوده و میزان تبخیرپذیری هوا نیز در محدوده

یکی از مهم‌ترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در مناطق خشک و نیمه خشک، تنش آب در مراحل رشد است و یکی از استراتژی‌ها در زمینه استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی برنامه‌ریزی آبیاری محصولات کشاورزی می‌باشد. روش‌های برنامه‌ریزی تعیین زمان آبیاری شاخص‌های خاک، بیان آبی و شاخص‌های گیاهی. برنامه‌ریزی با استفاده از شاخص‌های گیاهی، روش مستقیم برای تعیین زمان آبیاری می‌باشد، زیرا اولین تاثیر

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
 - ۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
 - ۳- استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
- *-نویسنده مسئول: (Email: Satar.scu@gmail.com)

دادند و نتیجه گرفتند که مقدار شاخص تنش آبی نشانگر خوبی برای وضعیت آبی گیاه می‌باشد و می‌توان جهت برنامه‌ریزی آبیاری گندم زمستانه مورد استفاده قرار گیرد (Gontia and Tiwari, 2008). آکوزو^۵ و همکاران با استفاده از شاخص تنش آبی برای درخت زیتون در ترکیه بهترین کارایی مصرف آب را تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تعیین کردند که شاخص تنش معادل آن برابر ۰/۳۹ شد (Akkuzu et al., 2013).

وردی نژاد و همکاران (۱۳۹۰) به منظور برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی و برنامه‌ریزی آبیاری ذرت علوفه‌ای بر اساس اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا، تحقیقی در مزرعه دانشکده کشاورزی کرج انجام دادند. برای این منظور چهار تیمار تخلیه رطوبت تا نقطه پژمردگی دائم در چهار مرحله استقرار، رویشی، گلدهی و رسیدن با سه تکرار در نظر گرفتند. بر اساس اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا برای چهار تیمار تخلیه رطوبت تا حد پژمردگی دائم و مقایسه با تیمار مرطوب، حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی برای ذرت علوفه‌ای در چهار مرحله رشد به ترتیب ۴۲/۸، ۵۹/۲، ۵۸/۹، ۶۷/۵ درصد محاسبه و خط مبنای بالایی و پایینی برای ذرت علوفه‌ای، به ترتیب ۳/۲ درجه سلسیوس و $(T_c - T_a)_{ll} = 1.609 - 0.164VPD$ تعیین کردند. کاندوغان^۶ و همکاران، چهار تیمار ۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی سویا با دور آبیاری ۷ روزه را در ترکیه مورد مطالعه قرار دادند و بیان کردند که از شاخص تنش آبی گیاه می‌توان برای تعیین زمان آبیاری سویا در آب و هوای مرطوب استفاده کرد، آن‌ها حد آستانه و مجاز شاخص تنش آبی سویا را ۰/۲۲ تعیین کردند (Candogan et al., 2013). تقویان و همکاران تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری در مرحله پر شدن دانه و بعد از مرحله پر شدن دانه را بر گیاه آفتابگردان در شمال کلرادو بررسی کردند. معادله خط پایین آفتابگردان در مرحله پر شدن دانه و بعد از مرحله پر شدن دانه به ترتیب بصورت $(T_c - T_a)_{ll} = 2.65 - 2.45VPD$ و $(T_c - T_a)_{ll} = 0.69 - 1.56VPD$ ارائه کردند. آن‌ها همچنین مقدار خط مبنای بالا برای کل دوره رشد ۵ درجه سلسیوس گزارش کردند (Taghvaeian et al., 2014). منگس^۷ و همکاران براساس اندازه‌گیری درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوای مجاور و کمبود فشار بخار هوا گیاه ذرت در شرایط گلخانه در منطقه کنزس معادله خط مبنای پایینی برای مرحله جوانه‌زنی و گیاهچه به صورت $(T_c - T_a)_{ll} = 2.95 - 3.38VPD$ ، برای مرحله رشد سریع به صورت $(T_c - T_a)_{ll} = 3.51 - 3.39VPD$ ، برای مرحله تولید مثل به صورت $(T_c - T_a)_{ll} = 4.21 - 2.78VPD$ و برای مرحله بلوغ به صورت $(T_c - T_a)_{ll} = 4.23 - 2.73VPD$ گزارش کرده‌اند (Mangus

حداکثر مقدار خود می‌باشد. بنابراین شدت تعرق گیاه در این حالت برابر با شدت تعرق پتانسیل است. ایدسو خط مبنای پایینی تنش را به صورت رابطه زیر معرفی کرد (Idso et al., 1982).

$$(T_c - T_a)_{ll} = a - b(VPD) \quad (۱)$$

در این رابطه $(T_c - T_a)_{ll}$: اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا در شرایط خط مبنای پایین بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد. a و b: ضرایب رابطه خطی و VPD^1 : کمبود فشار بخار هوا (mbar) که برای محاسبه آن از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$VPD = 10 \times \exp\left[\frac{-16.78T - 116.9}{T + 237.3}\right] \left(1 - \frac{RH}{100}\right) \quad (۲)$$

در این رابطه T: دمای هوا (C^0) و RH: رطوبت نسبی است. خط مبنای بالایی معرف حداکثر مقداری است که می‌توان برای اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوای مجاور انتظار داشت. وقتی اختلاف دمای گیاه و هوا به این حد افزایش یابد عمل تعرق به طور کامل متوقف خواهد شد. طبق نظر ایدسو برای توقف کامل تعرق، لازم است فشار بخار محیط به اندازه شیب فشار بخار (VPG) افزایش یافته تا بتواند با گرادیان فشار بخار مقابله نماید. رابطه خط مبنای بالایی تنش به صورت زیر می‌باشد:

$$(T_c - T_a)_{ul} = a + b|VPG| \quad (۳)$$

$(T_c - T_a)_{ul}$: اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا در شرایط خط مبنای بالایی بر حسب درجه سلسیوس و VPG: شیب فشار بخار اشباع (mbar) است. خط مبنای بالایی تنش را به صورت رابطه (۴) نیز می‌توان در نظر گرفت:

$$(T_c - T_a)_{ul} = h \quad (۴)$$

h: مقدار ثابتی بر حسب درجه سلسیوس و مستقل از کمبود فشار بخار است (Idso et al., 1982). به ازای مقدار معینی از کمبود فشار بخار آب، شاخص تنش آبی گیاه عبارت است از نسبت بین تفاوت اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا اندازه‌گیری شده از خط مبنای پایین، به کل تفاوت ممکن به ازای همان مقدار کمبود فشار بخار هوا. لذا می‌توان گفت تغییرات شاخص تنش آبی گیاه بین صفر الی یک متغیر است (Idso et al., 1982).

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{ll}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}} \quad (۵)$$

$(T_c - T_a)_m$: اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا روز قبل از آبیاری بر حسب درجه سلسیوس می‌باشد. در زمینه استفاده از $CWSI^2$ برای تعیین زمان آبیاری مطالعات زیادی صورت گرفته است. گونتیا^۳ و تیواری^۴ برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از دامسج مادون قرمز را برای گیاه گندم زمستانه در پنج سطح آبیاری مورد بررسی قرار

5- Akkuzu
6- Candogan
7- Mangus

1- Vapor Pressure Deficit
2- Crop Water Stress Index
3- Gontia
4- Tiwari

et al., 2016).

پایینی و بالایی برای گیاه ذرت در اهواز و ارتباط آن با رطوبت خاک و عمق آب موجود در خاک و استفاده از آن برای تعیین زمان آبیاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مشخصات محل مورد مطالعه

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی شماره یک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز در تابستان و پاییز ۱۳۹۷ انجام شد. از نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۸ درجه و ۳۹ دقیقه و ۶۸ ثانیه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۸ دقیقه و ۱۸ ثانیه عرض شمالی واقع گردیده که ۱۸ متر از سطح دریا ارتفاع و ۱/۲ هکتار مساحت دارد. در منطقه مورد مطالعه نزدیکترین ایستگاه هواشناسی ایستگاه سینوپتیک اهواز می‌باشد که در جدول (۱) داده‌های هواشناسی در طول فصل کشت را نشان می‌دهد.

برای اندازه‌گیری و تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک زمینی به مساحت ۵۰۰ متر مربع انتخاب گردید و قبل از مراحل آماده‌سازی مزرعه آزمایشی، در تیر ماه ۱۳۹۷ مزرعه آزمایشی با آب رودخانه کارون که متوسط شوری آن ۲ دسی-زیمنس بر متر بود (جدول ۲) سه مرتبه آبشویی شد و در سه نقطه مزرعه آزمایشی از سه عمق ۲۰-، ۴۰-، ۶۰-، ۴۰- سانتی‌متری، نمونه خاک برداشت شد. هدایت الکتریکی با استفاده از دستگاه هدایت‌سنج WTW مدل Cond 3310 اندازه‌گیری شد و برای تعیین جرم مخصوص ظاهری هر لایه خاک، نمونه‌های دست نخورده با استوانه‌های به قطر ۴/۷ و ارتفاع ۵/۱ سانتی‌متر نمونه‌برداری تهیه گردید و در آزمایشگاه تحقیقاتی آب و خاک دانشکده، آزمایش‌های لازم انجام گرفت. خصوصیات فیزیکی خاک مورد آزمایش در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به آزمایش خاک و طبق توصیه‌های موجود برای گیاه ذرت، مقدار فسفر مورد نیاز به شکل آمونیوم فسفات به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار، مقدار پتاسیم نیز به شکل سولفات پتاسیم به میزان ۶۰ کیلوگرم در هکتار و نیتروژن به شکل اوره به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار با خاک مخلوط شد. گیاه آزمایشی، ذرت رقم ۷۰۴ سینگل کراس با دوره رشد ۱۲۰ روز بود. کشت به صورت مستقیم درون کرت‌هایی به ابعاد ۳*۳ متر و در هر کرت ۴ جویچه که فواصل جویچه‌ها از همدیگر ۰/۷۵ متر و فاصله کرت‌ها از همدیگر ۱/۵ متر بود. بذر روی پشته در عمق ۴ سانتی‌متری از سطح خاک کشت شد. در تاریخ ۹۷/۵/۲۲ کشت صورت گرفت.

خصوصیات آب آبیاری مزرعه در جدول (۳) ارائه شده است. در این جدول واحد هدایت الکتریکی دسی‌زیمنس بر متر، واحد کاتیون‌ها و آنیون‌ها میلی‌اکی‌والانت بر لیتر و واحد کل مواد جامد محلول (TDS) برابر میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد.

ویسی و همکاران (۱۳۹۵)، به منظور تعیین زمان آبیاری مزارع نیشکر تحقیقی را در اراضی کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی روی واریته CP69 در سنین مختلف (کشت، بازروئی اول، دوم و سوم) انجام دادند. در این پژوهش مقدار بهینه شاخص CWSI برای شروع آبیاری در تمامی سنین ۰/۵ محاسبه شد. نتایج نشان داد همبستگی بین شاخص تنش آبی با رطوبت ناحیه ریشه بسیار قابل قبول بود، که به نظر می‌رسد علاوه بر تنش آبی، تنش‌هایی نظیر شوری به گیاه وارد می‌شود. دهقانی‌سانبج و همکاران (۱۳۹۶)، به منظور بررسی امکان کاربرد شاخص تنش آبی برای زمان‌بندی تک آبیاری گندم بهاره، تحقیقی در منطقه هنام لرستان با سه تیمار آبیاری (آبیاری در مرحله آغاز سنبله‌دهی، میانه گل‌دهی و اوایل دانه‌بندی) انجام دادند. آن‌ها خط مبنای پایین و بالا را به ترتیب $(T_c - T_a)_{l.l} = -2.089VPD - 2.28$ و $6/2$ درجه سلسیوس بدست آوردند. همچنین آستانه تنش آبی برای گندم دیم به میزان ۰/۳۶ تعیین کردند. برونینی^۱ و تورکو^۲ از شاخص تنش آبی گیاه (CWSI=Tc-Ta)، ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) جهت بدست آوردن زمان مناسب آبیاری در مراحل توسعه نیشکر اختلاف دمایی پوشش سبز گیاه و هوای مجاور را در محدوده‌ی ۲ تا ۵ درجه سلسیوس گزارش کردند که بیشترین حساسیت در مرحله جوانه‌زنی مشاهده شد (Brunini and Turco, 2018). فتاحی و همکاران به منظور برنامه‌ریزی آبیاری گیاه ذرت رقم (SC-701)، با استفاده از شاخص CWSI در شمال اصفهان آزمایشی با پنج تیمار آبیاری (۳۵، ۶۵، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبیاری) در چهار تکرار انجام دادند. نتایج آنها نشان داد که مقدار شاخص CWSI از تیمار ۳۵ درصد آبیاری تا ۱۰۰ درصد آبیاری حدود ۳ درصد افزایش و اختلاف (Tc-Ta) به چهار درجه سلسیوس رسیده و همچنین مقدار شاخص CWSI به ترتیب ۰/۴۴ و ۰/۱۲ می‌باشد و همچنین مقدار CWSI برای برنامه‌ریزی آبیاری ۰/۲۴ است و نشان دادند برای دستیابی به بیشترین عملکرد باید آبیاری بر اساس تیمار ۷۵ درصد انجام گیرد (Fattahi et al., 2018). دا سیلوا و همکاران جهت تعیین شاخص تنش آبی گیاه گوجه فرنگی (BRS Sena) در جنوب گوایاس برزیل آزمایش در قالب بلوک‌های کاملا تصادفی با چهار تکرار و پنج تیمار (۵۰، ۷۵، ۱۰۰، ۱۲۵ و ۱۵۰ درصد نیاز آبی) انجام دادند. نتایج آنها نشان داد برای دستیابی به بیشترین عملکرد گوجه فرنگی شاخص CWSI نباید از ۰/۲ تجاوز کند (da Silva et al., 2018).

با توجه به بررسی منابع صورت گرفته، هدف از انجام این تحقیق محاسبه شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو و رسم خط مبنای

جدول ۱- میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی در طول دوره رشد

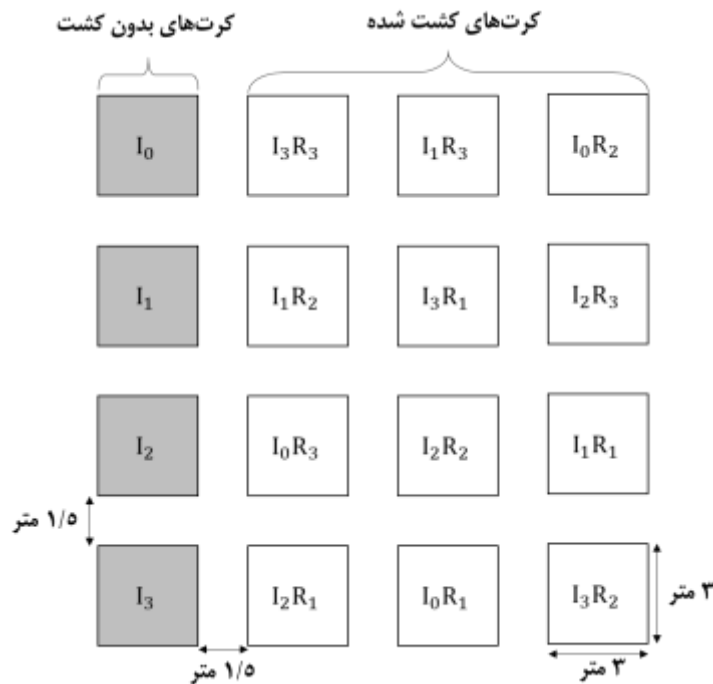
پارامتر اقلیمی	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر
بیشینه دمای هوا (سلسیوس)	۴۷	۴۶/۱	۴۰/۳	۲۷	۲۱/۸
کمینه دمای هوا (سلسیوس)	۳۱	۲۸/۵	۲۳/۲	۱۶/۸	۱۲/۵
متوسط رطوبت نسبی (درصد)	۱۹	۳۶	۳۷	۶۷	۷۸
متوسط سرعت باد (متر بر ثانیه)	۹/۲	۶/۴	۶/۷	۷/۱	۵/۵
متوسط بارندگی (میلی‌متر)	۰	۰	۲۷/۸	۹۷/۴	۱۰۳/۶

جدول ۲- خصوصیات خاک مورد آزمایش

بافت خاک	درصد رس	درصد سیلت	درصد شن	θ_{vfc}	θ_{vpp}	ρ_b (g/cm)	EC_e (dS/m)
لومی رسی	۲۹	۳۶	۳۵	۳۰	۱۶	۱/۴	۲

جدول ۳- خصوصیات کیفی آب آبیاری

SAR	NO_3^-	SO_4^{+}	HCO_3^-	Cl^-	Ca^{2+}	Na^+	Mg^{2+}	TDS	pH	EC (dS/m)
۸/۳۵	۳/۸۱	۱/۱۴	۸/۵۰	۲۰/۰۷	۵/۰۱	۱۸/۲۸	۵/۰۶	۱۸۹۵/۸۰	۸/۱۴	۲



شکل ۱- نقشه شماتیک طرح آزمایشی

تکرار اول، دوم، سوم می‌باشد.

برای اعمال رژیم‌های مختلف آب، براساس کمبود رطوبت خاک و با معیار قرار دادن تیمار بدون تنش خشکی و اعمال ضریب هر تیمار، از رابطه زیر استفاده شد:

$$SMD = (\theta_{vfc} - \theta_{vi}) \times D_{rz} \cdot f \quad (6)$$

در معادله فوق SMD: کمبود رطوبتی خاک (cm)، θ_{vfc} : درصد

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با چهار تیمار $I_0=120\%$ ، $I_1=100\%$ ، $I_2=80\%$ ، $I_3=60\%$ نیاز آبی گیاه) در سه تکرار اجرا شد. در مجموع تعداد کرت‌ها ۱۶ کرت، که ۴ کرت آن بدون کشت برای محاسبه تبخیر از سطح خاک بود (شکل ۱).

در شکل (۱)، I_0 برابر با ۱۲۰ درصد آبیاری و I_1 ، I_2 ، I_3 به ترتیب برابر ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ درصد نیاز آبی و R_1 ، R_2 ، R_3 به ترتیب

ظهر توسط دماسنج مادون قرمز و از چهار جهت اندازه‌گیری شد. همزمان با اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه در روزهای قبل و بعد از آبیاری، رطوبت خاک نیز به روش وزنی اندازه‌گیری شد. همچنین شاخص تنش آبی برای مراحل مختلف رشد تعیین گردید و ارتباط شاخص CWSI با رطوبت خاک و عمق آب موجود در خاک تعیین گردید.

نتایج و بحث

محاسبه خط مبنای پایینی و بالایی برای هر یک از تیمارها به

روش ایدسو

در روزهای پس از آبیاری با افزایش دمای هوا از صبح تا عصر به همراه افزایش کمبود فشار بخار هوا و افزایش تبخیر و تعرق، جریان آب از ریشه به برگ، همواره برقرار بوده و گیاه خنک نگه داشته می‌شود. تا زمانی که گیاه بتواند آب از خاک جذب کند، این روند ادامه می‌یابد. ولی هنگامی که گیاه نتواند رطوبت خاک را جذب کند و دچار تنش آبی شود و زمان آبیاری فرا رسیده باشد، به‌خصوص در ساعت‌های ظهر با افزایش کمبود فشار بخار هوا و افزایش دمای هوا، اختلاف درجه حرارت سطح برگ و هوا کاهش می‌یابد و دمای برگ افزایش می‌یابد. جدول (۴) معادلات خط مبنای پایینی و بالایی و همچنین همبستگی بین اختلاف دمای هوا و سطح برگ‌ها در برابر اختلاف فشار بخار برای تیمارهای مختلف در مراحل مختلف رشد را نشان می‌دهد.

در مرحله توسعه کمترین مقدار R^2 (۰/۷۴ و ۰/۷۸) در دو تیمار I_2 و I_3 ، در مرحله میانی رشد در تیمار I_2 (۰/۶۷) و در مرحله نهایی رشد در دو تیمار I_2 و I_3 (۰/۸۰ و ۰/۷۶) است، در این تیمارها با کاهش جذب آب و تعرق، دمای سطح برگ بالاتر رفته و اختلاف دمای سطح برگ و هوا مثبت شده است، همچنین بیشترین مقدار R^2 در مرحله توسعه در تیمار I_0 (۰/۹۲)، در مرحله میانی رشد در تیمار I_0 (۰/۷۸) و در مرحله نهایی رشد در دو تیمار I_0 و I_1 (۰/۸۵ و ۰/۸۵) بود که با افزایش جذب آب و تعرق، دمای سطح برگ کاهش یافته و اختلاف دمای سطح برگ و هوا منفی می‌شود.

نتایج ایدسو و همکاران نشان داد زمانی که گیاه کمبود آب نداشته باشد، اختلاف پوشش سبز گیاه و دمای هوا منفی می‌شود و زمانی که گیاه تحت تنش آبی شدید باشد، اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا مقداری مثبت می‌شود (Idso et al., 1977). داده‌های جدول (۴) نشان می‌دهند که با افزایش تنش آب آبیاری، خطوط مبنای بالا و پایین نیز جابجا می‌شوند. با افزایش تنش آب آبیاری از I_0 به I_3 شیب رابطه خطی $(T_c - T_a)$ و VPD (خط مبنای پایین) در مرحله توسعه از ۰/۰۹۴- به ۰/۰۵۶۶-، در مرحله میانی رشد از ۰/۱۷۰۱- به ۰/۱۵۵۵- و در مرحله نهایی رشد از ۰/۱۶۵- به ۰/۱۵۷- کاهش

رطوبت حجمی در ظرفیت زراعی، θ_{vi} : درصد رطوبت حجمی موجود در خاک، D_{Tz} : عمق توسعه ریشه (cm) و f : ضریب هر تیمار (%). می‌باشد.

با محاسبه کمبود رطوبتی خاک (SMD) طبق رابطه (۶) و ضرب در مساحت کرت‌ها، حجم آب آبیاری برای سطح ۱۰۰ درصد نیاز آبی تعیین گردید و با ضرب در ضرائب ۰/۰۶، ۰/۸ و ۱/۲ حجم آب آبیاری برای سه سطح ۶۰، ۸۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی نیز محاسبه شد. قبل از اعمال تیمار، آبیاری تمام کرت‌ها به طور کامل و براساس نیاز آبی ۱۰۰ درصد انجام شد، و پس از چهار برگی شدن در مرحله رشد و توسعه در تاریخ ۹۷/۶/۲۴ اعمال تیمار صورت گرفت.

برای انجام آبیاری نیاز به حجم آب مورد نیاز می‌باشد. برای محاسبه حجم آب از رابطه (۷) استفاده شد:

$$V_{gi} = \frac{d_n \times A}{E_a} \quad (7)$$

V_{gi} : حجم آبیاری، d_n : عمق خالص آبیاری که همان SMD می‌باشد، A : مساحت کرت و E_a : راندمان که در این تحقیق با توجه به شرایط مزرعه و کرت‌ها ۹۰ درصد در نظر گرفته شد. در این تحقیق آبیاری گیاه ذرت با آب رودخانه کارون انجام شد که در طول رشد گیاه، تعداد ۱۴ بار آبیاری انجام گرفت، ۶ بار آن مربوط به قبل از اعمال تیمار و ۸ بار دیگر بعد از اعمال تیمار می‌باشد. مقدار آب مصرفی قبل از اعمال تیمار ۱۸۱۰ متر مکعب در هکتار و مقدار آب مصرفی بعد از اعمال تیمار برای تیمارهای I_0 ، I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب ۴۷۹۰، ۳۹۹۰، ۳۱۹۰ و ۲۳۹۰ متر مکعب در هکتار بود و مقدار آب مصرفی در کل طول دوره رشد، برای تیمارهای I_0 ، I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب ۶۶۰۰، ۵۸۰۰، ۵۰۰۰ و ۴۲۰۰ متر مکعب در هکتار به دست آمد.

برای محاسبه شاخص تنش آبی به روش ایدسو نیاز به اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه است. بدین منظور از دماسنج مادون قرمز Kane-May مدل KM823 استفاده شد. برای تعیین خط مبنای پایینی تنش، درجه حرارت برگ گیاه، در روزهای بعد از آبیاری در محدوده تیمارهای کم‌آبیاری هر یک ساعت یکبار از ساعت ۸ صبح الی ۱۵ بعد از ظهر توسط دماسنج مادون قرمز از چهار جهت اندازه‌گیری شد. دمای هوا و رطوبت نسبی از ایستگاه هواشناسی اهواز تهیه شد. با استفاده از دمای پوشش سبز گیاه، دمای هوا و رطوبت نسبی، خط رگرسیونی بین پارامترهای $(T_c - T_a)$ و VPD بر اساس معادله (۱) رسم گردید. همچنین به منظور تعیین خط مبنای بالا در روزهای قبل از آبیاری از ساعت ۸ صبح الی ۱۵ بعد از ظهر هر یک ساعت یکبار دمای پوشش سبز گیاهی اندازه‌گیری و براساس معادله (۳) رسم گردید. به منظور تعیین شاخص تنش آبی گیاه، درجه حرارت برگ گیاه، در روزهای قبل از آبیاری در محدوده چهار تیمار ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصد نیاز آبی هر ساعت یکبار از ۱۱ صبح الی ۱۴ بعد از

یافته است و خط مبنای بالایی در مرحله توسعه از ۲/۶۷ به ۳/۳۲، در مرحله میانی رشد از ۳ به ۴/۴ و در مرحله نهایی رشد از ۱/۰۳ به ۱/۷۵ صعود کرده است. نتایج سایر پژوهشگران در جدول (۵) به طور خلاصه ارائه شده است.

جدول ۴- معادله‌های خطوط مبنای بالایی و پایینی برای تیمارهای مختلف در مراحل مختلف رشد

مرحله رشد	تیمار	معادله خط مبنای بالا	معادله خط مبنای پایین	R ²
توسعه	I ₀	$(T_c - T_a)_{u,l} = 2.67$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.852 - 0.094 VPD$	۰/۹۲
	I ₁	$(T_c - T_a)_{u,l} = 2.89$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.984 - 0.0946 VPD$	۰/۸۵
	I ₂	$(T_c - T_a)_{u,l} = 2.97$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 2.185 - 0.0741 VPD$	۰/۷۴
	I ₃	$(T_c - T_a)_{u,l} = 3.32$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 2.605 - 0.0566 VPD$	۰/۷۸
میانی رشد	I ₀	$(T_c - T_a)_{u,l} = 3$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 2.823 - 0.1701 VPD$	۰/۷۸
	I ₁	$(T_c - T_a)_{u,l} = 3.4$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 3.217 - 0.1669 VPD$	۰/۷۶
	I ₂	$(T_c - T_a)_{u,l} = 4.12$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 3.902 - 0.1678 VPD$	۰/۶۷
	I ₃	$(T_c - T_a)_{u,l} = 4.4$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 4.185 - 0.1555 VPD$	۰/۷۶
نهایی رشد	I ₀	$(T_c - T_a)_{u,l} = 1.03$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.071 - 0.165 VPD$	۰/۸۵
	I ₁	$(T_c - T_a)_{u,l} = 1.20$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.147 - 0.160 VPD$	۰/۸۵
	I ₂	$(T_c - T_a)_{u,l} = 1.40$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.337 - 0.157 VPD$	۰/۸۰
	I ₃	$(T_c - T_a)_{u,l} = 1.75$	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.692 - 0.157 VPD$	۰/۷۶

جدول ۵- مقایسه نتایج حاضر با سایر کارهای مشابه.

منبع	گیاه	معادله خط مبنای بالا	معادله خط مبنای پایین
سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۵)	ذرت	۳/۶۹ کشت تابستانه	$(T_c - T_a)_{l,l} = 2.161 - 0.22 VPD$ کشت تابستانه
		۲/۵۲ کشت زمستانه	$(T_c - T_a)_{l,l} = 1.641 - 0.178 VPD$ کشت زمستانه
(Fattahi et al., 2018)	ذرت	۲/۳	$(T_c - T_a)_{l,l} = -1.7105 - 1.4 VPD$

مرحله نهایی رشد ۰/۷ درجه سلسیوس کاهش پیدا می‌کند. به عبارت دیگری کم آبیاری باعث افزایش دمای پوشش سبز گیاه می‌شود. همچنین پایین بودن خط مبنای پایینی در تیمارهای I₀ و I₁ در سه دوره رشد گیاه، نسبت به دو تیمار I₂ و I₃ گویای این است که در شرایط بدون تنش آبی قرار دارند.

محاسبه شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو

در این تحقیق شاخص تنش آبی کل دوره رشد برای تیمارهای I₀, I₁, I₂ و I₃ به ترتیب برابر ۰/۱۷، ۰/۲۲، ۰/۳۵ و ۰/۵۲ به دست آمد. مقدار شاخص CWSI بین یک و صفر نوسان دارد که با نتایج حاصل مطابقت دارد. همانطور که مشاهده می‌کنید تنش ناشی از کمبود آب آبیاری باعث افزایش دمای سطح برگ و شاخص CWSI شده است. هرچه این مقدار به یک نزدیکتر باشد تنش وارده به گیاه بیشتر است. تفاوت به وجود آمده بین مقادیر شاخص CWSI در تیمارهای مختلف بیانگر حساسیت بالای این شاخص به کمبود آب است. در جدول (۷) مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر کارهای مشابه ارائه شده است.

همان طوری که دیده می‌شود معادله‌های خط مبنای پایینی (حداقل تنش) برای یک گیاه خاص مثل ذرت در شرایط متفاوت آبیاری و تیمارهای مختلف آبیاری از نظر ظاهر شبیه هم هستند اما شیب و عرض از مبدا آن‌ها یکسان نیست و نمی‌توان معادله واحدی برای آن پیشنهاد نمود. مقایسه خط مبنای پایینی ذرت در تیمارهای مختلف گویای این بحث می‌باشد.

بر اساس تغییرات شیب خطوط مبنای پایینی و وضعیت آن‌ها نسبت به هم می‌توان میزان کاهش (T_c-T_a)، به ازای افزایش یک واحد VPD را در هر یک از تیمارهای آبیاری در هر مرحله از رشد و روند تغییرات اختلاف دمای سطح برگ و هوا، در یک میزان کمبود فشار بخار مشخص کرد. به عنوان نمونه در مرحله توسعه، میانی و نهایی رشد به ترتیب با کمبود فشار بخار ۶۰، ۴۰ و ۱۵ میلی‌بار روند تغییرات اختلاف دمای سطح برگ و هوا در جدول (۶) ارائه شده است. اعداد منفی نشان دهنده این است که دمای هوا، بیشتر از دمای سطح برگ است همچنین با افزایش تنش آبی از I₀ به I₃ اختلاف دمای سطح برگ و هوا، در مرحله توسعه ۳، در مرحله میانی تقریباً ۲ و در

جدول ۶- تغییرات اختلاف دمای سطح برگ و هوا برحسب درجه سلسیوس در برابر کمبود فشار بخار در تیمارهای مختلف برای هر مرحله از رشد برای یک روز بعد از آبیاری

VPD (mbar)	تیمارهای آبیاری				مرحله رشد
	I ₀	I ₁	I ₂	I ₃	
۶۰	-۳/۷۹	-۳/۶۹	-۲/۲۶	-۰/۷۹	توسعه
۴۰	-۳/۹۸	-۳/۴۶	-۲/۸۱	-۲/۰۳	میانی
۱۵	-۱/۴	-۱/۲۵	-۱/۰۲	-۰/۶۶	نهایی

جدول ۷- مقایسه نتایج حاضر با سایر کارهای مشابه

شاخص CWSI	گیاه	منبع
۰/۳	ذرت	محمدی و همکاران (۱۳۹۲)
۰/۱۴	برای آبیاری بارانی شهریور ماه	
۰/۱۸	برای آبیاری بارانی مهرماه	قربانی و همکاران (۱۳۹۴)
۰/۱۴	برای آبیاری سطحی شهریورماه	
۰/۱۵	برای آبیاری سطحی مهرماه	
۰/۲۳	ذرت	سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۵)
۰/۲۴	ذرت رقم KSC-701	(Fattahi et al., 2018)

در جدول (۸)، شاخص تنش آبی برای دوره‌های مختلف رشد گیاه در یک روز بعد از آبیاری برای تیمارهای مختلف آبیاری ارائه شده است. در مرحله توسعه با توجه به دمای بالای هوا و جلوگیری از تنش، دور آبیاری‌ها کوتاه با عمق کم انجام گرفت. زمانی که گیاه به مرحله رشد میانی خود رسید با توجه به نیاز آبی گیاه عمق آبیاری

افزایش یافته و در اواخر رشد، عمق آبیاری کاهش یافته است. بر همین اساس بیشترین مقدار شاخص CWSI در تیمار I₃ و در مرحله میانی (۰/۳۴) و کمترین آن مربوط تیمار I₀ در مرحله پایانی (۰/۱۰) اتفاق افتاده است.

جدول ۸- مقادیر شاخص تنش آبی برای دوره‌های مختلف رشد در یک روز بعد از آبیاری

تیمار	مرحله توسعه	مرحله میانی	مرحله پایانی
I ₀	۰/۱۶	۰/۲۲	۰/۱۰
I ₁	۰/۱۸	۰/۳۴	۰/۱۱
I ₂	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۱۵
I ₃	۰/۲۷	۰/۳۴	۰/۱۷

به منظور بررسی روند تغییرات شاخص CWSI در طول دوره رشد گیاه ذرت، تغییرات این شاخص برای تیمارهای مختلف در جدول (۹) برای مراحل مختلف رشد گیاه در یک روز قبل از آبیاری محاسبه گردید. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که با گذشت زمان، تاثیر

تنش اعمال شده در تیمارها زیاد شده و در انتهای فصل کشت کاهش یافته است، بیشترین مقدار شاخص CWSI در تیمار I₃ و در مرحله میانی (۰/۶۷) و کمترین آن مربوط تیمار I₀ در مرحله پایانی (۰/۲۶) اتفاق افتاده است.

جدول ۹- مقادیر شاخص CWSI برای دوره‌های مختلف رشد در یک روز قبل از آبیاری

تیمار	مرحله رشد و توسعه	مرحله میانی	مرحله پایانی
I ₀	۰/۳۴	۰/۳۹	۰/۲۶
I ₁	۰/۴۵	۰/۵۰	۰/۳۴
I ₂	۰/۵۰	۰/۵۴	۰/۳۸
I ₃	۰/۵۸	۰/۶۷	۰/۴۳

این تحقیق میزان همبستگی بین شاخص CWSI و رطوبت خاک در شرایط تنش آبی، بررسی شد. جدول (۱۰)، روابط بین شاخص تنش آبی و رطوبت حجمی خاک در فصل رشد برای یک روز بعد از آبیاری تیمارهای مختلف آبیاری را نشان می‌دهد.

به منظور بررسی رابطه بین شاخص تنش آبی گیاه و رطوبت خاک در طول فصل کشت و در روزهایی که این شاخص محاسبه شد میزان رطوبت خاک نیز در تیمارهای مختلف اندازه‌گیری شد. برای این کار نمونه خاک در عمق ریشه در کلیه تیمارها تعیین گردید. در

جدول ۱۰- معادله‌های شاخص CWSI با رطوبت خاک برای تیمارهای مختلف (یک روز بعد از آبیاری)

تیمار	معادله شاخص CWSI با رطوبت	R ²
I ₀	$CWSI = -0.0605 \theta_v + 1.9006$	۰/۸۷
I ₁	$CWSI = -0.0586 \theta_v + 1.8296$	۰/۹۰
I ₂	$CWSI = -0.051 \theta_v + 1.5998$	۰/۹۴
I ₃	$CWSI = -0.0397 \theta_v + 1.260$	۰/۹۶

تنش آبی می‌تواند به خوبی وضعیت تنش گیاه را مشخص کند و لذا معیاری مطمئن از میزان در دسترس بودن آب برای گیاه است. از این رو شاخص تنش آبی گیاه ابزار مناسبی جهت برنامه‌ریزی آبیاری و مدیریت بهینه آن در مزرعه می‌باشد احمدی و همکاران (۱۳۹۷)، رابطه بین شاخص CWSI و رطوبت خاک برای گیاه سویا در شرایط لرستان را به صورت $CWSI = 1.57 - 0.06\theta_v$ با ضریب تعیین $R^2=0.91$ ارائه دادند. البته ویسی و همکاران (۱۳۹۵)، گزارش کردند که همبستگی بین شاخص تنش آبی با رطوبت ناحیه ریشه نیشکر معنی‌دار نبوده که به نظر می‌رسد در تحقیق آن‌ها علاوه بر تنش آبی، به دلیل بالا بودن شوری آب آبیاری گیاه تحت تنش شوری نیز قرار گرفته است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، هرچه تنش آبی بیشتر می‌شود، ضمن افزایش شاخص تنش آبی، رطوبت خاک و به تبع آن رطوبت قابل جذب توسط گیاه کاهش می‌یابد. پالتین‌یانو و همکاران رابطه خطی بین شاخص و میزان رطوبت خاک بر حسب سانتی متر مکعب در فواصل آبیاری را با همبستگی پایینی ($R^2=0.39$) به علت ابری بودن هوا به صورت متناوب، تغییر در خاک زراعی و فاکتورهای زراعی، گزارش کردند (Paltineanu et al., 2009).

در جدول (۱۱) رابطه بین شاخص CWSI و رطوبت حجمی خاک برای تیمارهای مختلف آبیاری برای یک روز قبل از آبیاری ارائه شده است. باتوجه به روابط، همبستگی بالایی بین شاخص تنش آبی و رطوبت حجمی خاک دیده می‌شود. وجود همبستگی بالا بین شاخص CWSI و رطوبت خاک بیانگر این واقعیت است که شاخص

جدول ۱۱- معادله‌های شاخص CWSI با رطوبت حجمی خاک برای تیمارهای مختلف (یک روز قبل از آبیاری)

تیمار	معادله شاخص CWSI با رطوبت	R ²
I ₀	$CWSI = 1.068 - 0.0089\theta_g$	۰/۹۰
I ₁	$CWSI = 1.038 - 0.0281\theta_g$	۰/۸۹
I ₂	$CWSI = 0.917 - 0.0233\theta_g$	۰/۹۶
I ₃	$CWSI = 1.081 - 0.0316\theta_g$	۰/۹۶

جدول ۱۲- معادله‌های شاخص CWSI با عمق آب موجود در خاک برای تیمارهای مختلف

تیمار	معادله شاخص CWSI با عمق آبیاری	R ²
I ₀	$d = 181.94 CWSI^{-.233}$	۰/۹۷
I ₁	$d = 175.51 CWSI^{-.261}$	۰/۹۰
I ₂	$d = 140.12 CWSI^{-.419}$	۰/۸۸
I ₃	$d = 126.06 CWSI^{-.435}$	۰/۸۸

d عمق آب موجود برحسب میلی‌متر در هر متر از خاک می‌باشد. همان‌طور که در جدول (۱۲) مشاهده می‌گردد بین شاخص

جدول (۱۲) معادله‌های شاخص CWSI با عمق آب موجود در خاک برای هر یک از تیمارهای آبیاری نشان می‌دهد در این معادله‌ها

دهقانی سانجیح، ح.، نخجوانی مقدم، م.م. و قهرمان، ب. ۱۳۹۶. کاربرد شاخص تنش آبی گیاه برای زمان بندی تک آبیاری گندم دیم (مطالعه موردی در بالادست حوضه کرخه). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۴۰:۱۱: ۵۶۱-۵۵۲.

سعیدی نیا، م. ۱۳۹۳. بررسی اثر شوری آب آبیاری بر عملکرد ذرت با استفاده از شاخص CWSI و شبیه سازی آن با مدل AquaCrop، تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: منطقه اهواز). پایان نامه دکتری دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

سعیدی نیا، م.، برومندنسب، س.، هوشمند، ع.، سلطانی محمدی، ا. و اندرزیان، ب. ۱۳۹۵. قابلیت کاربرد شاخص CWSI برای برنامه ریزی آبیاری ذرت با آب شور در اهواز. نشریه دانش آب و خاک. ۱:۲۶: ۱۸۵-۱۷۳.

قربانی، م.، برومندنسب، س.، محمدی، ا.س. و مینایی، س. ۱۳۹۴. برنامه ریزی آبیاری ذرت تابستانه تحت دونوع آبیاری سطحی و بارانی با استفاده از شاخص CWSI در شرایط اقلیمی اهواز. علوم و مهندسی آبیاری. ۴:۳۸: ۷۳-۶۳.

کوچکی، ع.، حسینی، م. و نصیری محلاتی، م. ۱۳۷۴. رابطه آب و خاک در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

محمدی، ه. ۱۳۹۲. برنامه ریزی آبیاری ذرت بهاره تحت آبیاری قطره‌ای با استفاده از دماسنج مادون قرمز در شرایط اقلیمی اهواز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

وردی نژاد، و.، بشارت، س.، عبقری، ه. و احمدی، ح. ۱۳۹۰. برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی ذرت علوفه‌ای در مراحل مختلف رشد با استفاده از اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). ۶:۲۵: ۱۳۵۲-۱۳۴۴.

ویسی، ش.، ناصری، ع.، حمزه، س. ۱۳۹۵. تعیین زمان آبیاری مزارع نیشکر با استفاده از دماسنج مادون قرمز حرارتی و رطوبت خاک ناحیه ریشه. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۶:۲۳: ۲۵۱-۲۳۵.

Akkuzu, E., Kaya, Ü., Çamoğlu, G., Mengü, G.P., and Aşık, S. 2013. Determination of crop water stress index and irrigation timing on olive trees using a handheld infrared thermometer. J. Irrig. Drain. Eng. 139:9: 728-737.

Brunini, R.G., and Turco, J.E.P. 2018. Water stress index on sugarcane in different developmental phases. Ciência e Agrotecnologia. 42:2: 204-215.

Candogan, B.N., Sincik, M., Buyukcangaz, H., Demirtas, C., Goksoy, A.T., and Yazgan, S. 2013.

CWSI و عمق آب موجود در خاک همبستگی بالایی وجود دارد. در تحقیقی سعیدی نیا و همکاران (۱۳۹۳)، گزارش کردند که در تیمارهای مختلف شوری آب آبیاری، همبستگی بالایی ($R^2=0.97$) بین رابطه نمایی شاخص تنش آبی CWSI و کل آب موجود در خاک وجود دارد.

نتیجه گیری

پژوهش حاضر به منظور برنامه ریزی آبیاری

رت تابستانه با استفاده از دمای پوشش سبز به روش ایدسو در شرایط اقلیمی اهواز انجام گرفت. تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز تحت چهار نوع رژیم آبیاری شامل I_0 , I_1 , I_2 و I_3 به ترتیب ۱۲۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه در قالب یک طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار انجام گرفت. نتایج حاصل نشان داد بیشترین و کمترین مقدار شاخص CWSI در یک روز بعد از آبیاری به ترتیب در تیمار I_3 در مرحله میانی (۰/۳۴) و تیمار I_0 در مرحله پایانی (۰/۱۰) و بیشترین و کمترین مقدار شاخص CWSI در یک روز قبل از آبیاری به ترتیب در تیمار I_3 در مرحله میانی (۰/۶۷) و در تیمار I_0 در مرحله پایانی (۰/۲۶) اتفاق افتاده است. برای کل دوره رشد مقادیر متوسط شاخص CWSI تیمارهای I_0 , I_1 , I_2 و I_3 به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۲۲، ۰/۳۵ و ۰/۵۲ بدست آمد. همچنین میزان همبستگی بین شاخص CWSI و رطوبت خاک در یک روز بعد از آبیاری برای تیمارهای I_0 , I_1 , I_2 و I_3 به ترتیب برابر ۰/۸۷، ۰/۹۰، ۰/۹۴ و ۰/۹۶ و در یک روز قبل از آبیاری به ترتیب برابر ۰/۹۰، ۰/۸۹، ۰/۹۶ و ۰/۹۶ بود با افزایش تنش آبی همبستگی بین شاخص CWSI و عمق آب موجود در خاک کاهش یافته به طوری که بیشترین R^2 (۰/۹۷) در تیمار I_0 و کمترین R^2 (۰/۸۸) در تیمار I_2 و I_3 بود. به طوری که نتایج این تحقیق تایید می کند شاخص تنش آبی گیاه ابزار مناسبی جهت برنامه ریزی آبیاری و مدیریت بهینه آن در مزرعه می باشد.

منابع

احمدی، ح.، نصرالهی، ع.ج.، شریفی پور، م. و عیسوند، ح. ۱۳۹۷. تعیین شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) سوپا برای مدیریت آبیاری جهت حداکثر عملکرد و بهره‌وری آب. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران. ۴:۸: ۱۳۱-۱۲۱.

برومندنسب، س.، طاهری قناد، س. و معیری، م. ۱۳۸۳. استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه برای برنامه ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط شمال خوزستان. مجله علمی کشاورزی. ۲:۲۷: ۴۷-۵۶.

- diffusion resistance and photosynthesis in cotton as related to a foliage temperature based plant water stress index. *Agric. Meteorol.* 27.1: 27-34.
- Mangus, D.L., Sharda, A., and Zhang, N. 2016. Development and evaluation of thermal infrared imaging system for high spatial and temporal resolution crop water stress monitoring of corn within a greenhouse. *Comput. Electron. Agric.* 121: 149-159.
- Paltineanu, C., Chitu, E., and Tanasescu, N. 2009. Correlation between the crop water stress index and soil moisture content for apple in a loamy soil: a case study in southern Romania. VI International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 889. 257-264.
- Taghvaeian, S., Chávez, J.L., Bausch, W.C., DeJonge, K.C., and Trout, T.J. 2014. Minimizing instrumentation requirement for estimating crop water stress index and transpiration of maize. 32.1: 53-65.
- Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [*Glycine max (L.) Merr.*] in sub-humid climatic conditions. *Agric. water Manag.* 118: 113-121.
- da Silva, C.J., da Silva, C.A., de Freitas, C.A., Golynski, A., da Silva, L.F.M., and Frizzzone, A. 2018. Tomato water stress index as a function of irrigation depths. *Rev. Bras. Eng. Agrícola e Ambient.* 22.2: 95-100.
- Fattahi, K., Babazadeh, H., Najafi, P., and Sedghi, H. 2018. Scheduling maize irrigation based on crop water stress index (CWSI). *Appl. Ecol. Environ. Res.* 16.6: 7535-7549.
- Gontia, N.K., and Tiwari, K.N. 2008. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agric. water Manag.* 95.10: 1144-1152.
- Idso, S.B., Jackson, R.D., and Reginato, R.J. 1977. Remote-sensing of crop yields. *Science.* 196.4285: 19-25.
- Idso, S.B., Reginato, R.J., and Radin, J.W. 1982. Leaf

Corn Grain Irrigation Programming Using CWSI Index in Ahvaz Climatic Conditions

S. Jalilian^{1*}, A. Soltani Mohammadi², S. Broumand Nasab³

Received: Apr.22, 2020

Accepted: Jul.09, 2020

Abstract

The use of green cover temperature for plant irrigation planning is one of the methods that has been considered by researchers. For this purpose, several indicators have been presented, among which we can mention the water stress index of the plant by Idso method. In order to plan summer corn irrigation in climatic conditions of Ahvaz using green cover temperature, in 2018 research in the research farm of Shahid Chamran University of Ahvaz Faculty of Water Engineering under four types of irrigation regime including I₀, I₁, I₂ and I₃ respectively 120, 100, 80 and 60% of the plant's water requirement was done in a completely randomized design in three replications. Based on the results, the equation of the upper and lower base line for the corn plant, treatment I₁ (100% water requirement) for the development stage is 2.89 and $(T_c - T_a)_{II} = 1.984 - 0.0946VPD$, for the middle stage is 3.4 and $(T_c - T_a)_{II} = 3.217 - 0.1669VPD$ and for the final stage of growth was equal to 1.2 and $(T_c - T_a)_{II} = 1.147 - 0.160VPD$ was obtained in degrees Celsius. The results also showed that the total water stress index for the growth period for the 120, 100, 80 and 60 treatments was 0.17, 0.22, 0.35 and 0.52, respectively. The relationship between plant water stress index and soil moisture level for different irrigation treatments was highly correlated and the equation of soil stress index with soil moisture for I₁ treatment for the next day and before irrigation was equal to $CWSI = 1.8296 - 0.0586\theta_v$ and $CWSI = 1.038 - 0.0281\theta_v$ was obtained. The results showed that with decreasing water consumption, the plant's water stress index increased and with increasing water stress, the correlation between CWSI index and soil water depth decreased so that the highest R² (0.97) in I₀ treatment and the lowest R² (0.88) was in I₂ and I₃ treatments. As the results of this study confirm, the plant's water stress index is a good tool for irrigation planning and optimal management in the field.

Keywords: Ahvaz, Corn, Infrared thermometer, Irrigation planning, Water stress index

1- M.Sc Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

2- Associate Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

3- Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran university of Ahvaz, Iran

(*- Corresponding Author Email: Satar.scu@gmail.com)