

Research Paper

Determination of Crop Water Stress Index of Sugarcane in Two Methods of Surface Irrigation and Sub-surface Drip Irrigation

Mohsen Akbri Chamani¹, Amir Soltani Mohammadi^{2*}, Saeid Boroomand Nasab³, Ali Sheini Dashteghol⁴

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

^{2*} Associate Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

³Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

⁴Director of Irrigation and Drainage Research, Khuzestan Sugarcane Research and Training Institute, Dependent on Sugarcane and Agro Industries Company.



[10.22125/IWE.2023.351906.1651](https://doi.org/10.22125/IWE.2023.351906.1651)

Received:
July 15, 2022
Accepted:
January 30, 2023
Available online:
December 30, 2023

Keywords:
CWSI, Leaf temperature,
Sugarcane, Upper and
lower baselines

Abstract

By using the temperature of the canopy cover of the plant, a practical parameter called the Crop Water Stress Index (CWSI), it was determined that this index is one of the methods of checking the water requirement of the plant and it can be considered as a suitable tool for irrigation management in the field. Therefore, this research was carried out with the aim of determining the water stress index of sugarcane in two methods of surface irrigation (CI) and subsurface drip irrigation (SDI) at research station number one of Khuzestan Research and Training Institute for Development of Sugarcane and Related Industries, in June 2022. The fields included the third field culture (Ratoon 3), of the CP69-1062 variety, and were selected with four furrows in both methods. First, the equation of upper and lower base lines for the surface irrigation method was determined as $(T_c - T_a)_{ul} = 1.7$ and $(T_c - T_a)_{ll} = -0.09VPD + 1.27$, respectively. Then, using the equations of the lines based on the surface irrigation method, the average of crop water stress index for subsurface drip irrigation method and surface irrigation was calculated as 0.28 and 0.66, respectively, and the equation was presented according to the irrigation scheduling of the Sugarcane in June.

1. Introduction

Environmental stresses are one of the most effective factors limiting the performance of crops. One of the most important environmental stresses is crop water stress or lack of water, which refers to conditions in

* **Corresponding Author:** Amir Soltani Mohammadi

Address: Faculty of Water and Environmental Engineering,
Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Email: a.soltani@scu.ac.ir

Tel: +989163064863

which the plant's cells and tissues are not in perfect condition. Such conditions occur when there is no proper balance between water absorption and sweating, which is usually observed in the middle of the day due to a delay between absorption and transpiration (Boroomand Nasab et al. 2004). Measuring the water status in the plant and using plant indicators including plant color and freshness, relative water content, leaf water potential, plant decomposition, stomatal resistance and the temperature of the green cover of the plant can provide a better estimate of the stress (Shahrokh nia, 2016).

One of the most effective ways to determine the water status of a plant is to use the temperature of the green cover of the plant, which is a reliable indicator for measuring water stress (Fitzerald et al., 2006).

By using this method (using the temperature of the green cover of the plant), a practical parameter called Crop Water Stress Index (CWSI) is determined. This index is mostly developed for use in arid and semi-arid areas, and it is less effective in humid areas due to the fact that the temperature of the green cover is higher than the air temperature. The numerical value of CWSI is between zero and one. Zero indicates that the plant is not faced with water stress and has the most ideal conditions for transpiration, but the number one indicates the maximum water stress applied to the plant and the complete stop of transpiration (Idso et al. 1981).

2. Materials and Methods

To determine the position of the lower base line, in the surface irrigation method, the leaf temperature was measured by an infrared thermometer from 8:00 am to 2:00 pm. At the same time, the dry air temperature and relative humidity were obtained from the meteorological station of the Sugarcane Development Research and Training Institute.

Using air temperature, leaf temperature and relative humidity, a regression line was drawn between the parameters of leaf and air temperature difference and VPD. By calculating VPG and having the coefficients a and b, from the equation of the low stress baseline, the upper stress baseline was determined.

In order to calculate CWSI in the surface irrigation method, leaf temperature was measured every hour from 11:00 AM to 3:00 PM by infrared thermometer from four directions, along with air temperature and relative humidity. Also, in order to calculate CWSI in subsurface drip irrigation method, it is necessary to measure leaf temperature, air temperature and relative humidity during the day (from 11:00 AM to 3:00 PM).

By having the coefficients a and b from the equation of the lower baseline and also having the upper baseline from the surface irrigation method, and by calculating $(T_c - T_a)_m$ (the average difference in leaf and air temperature from 11:00 AM to 3:00 PM afternoon, in degrees celsius) and calculating VPD_m (average air vapor pressure deficit from 11:00 AM to 3:00 PM, in millibars), crop water stress index was calculated by subsurface drip irrigation method.

3. Results

Based on the results of this research, the average crop water stress index for surface and subsurface drip irrigation was 0.66 and 0.28, respectively. Also, the equations of the upper and lower baselines in the month of June for surface irrigation were determined as follows:

$$(T_c - T_a)_{ll} = 1.27 - 0.09 \text{VPD}$$

$$(T_c - T_a)_{ul} = 1.7$$

Based on the value of CWSI index, the equation of surface and subsurface drip irrigation time in June is determined as follow:

$$(T_c - T_a)_m = 1.55 - 0.03 \text{VPD}_m \text{ and } (T_c - T_a)_m = 1.39 - 0.065 \text{VPD}_m .$$

4. Discussion and Conclusion

The water stress index of the plant has a negative and high correlation with changes in evaporation and transpiration, so that with the increase of evaporation and transpiration, the water stress index of the plant decreases. Therefore, according to the water stress index values of the plant for subsurface and surface drip irrigation, it is observed that in the subsurface drip irrigation method, access to water is better and the plant has a more favorable moisture condition than the surface method.

5. Six important references

- 1) Boroomand Nasab, S., S. Taheri Ghannad and M. Moayeri. 2004. Application of Green Plant Cover Temperature for Irrigation Planning of Spring Corn in Khuzestan Conditions. *Scientific Journal of Agriculture* 27: 56-47.
- 2). Fitzgerald, G. J., Rodriguez, D., Christensen, L. K., Belford, R., Sadras, V. O. and T. R. Clarke. 2006. Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rain-fed and irrigated wheat environments. *Journal of Precision Agriculture*, 7(4): 233-248.
- 3) Idso, S. B., R. D. Jackson, P. J. Pinter, R. J. Reginato and J. L. Hatfield. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Journal of Agricultural Meteorology* 24: 45-55.
- 4) . Metin Sezen. S., A. Yazar, Y. Dasgan, S. Yucel, A. Akyildiz, S. Tekin and Y. Akhoundnejad. 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 143 (2014) 59-70.
- 5) Shahrokh Nia, M. A. 2016. Irrigation planning of fields and gardens by measuring the temperature of plant leaves. *Fars Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, Technical publication, Number 7.*
- 6) Ucak, A. B. and H. Secme. 2021. Determination of irrigation time using plant water stress index values of second crop sunflower in semi-arid climate conditions. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(12): 2289-2295.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Acknowledgments

We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support (GN: SCU.WI1400.273).



تعیین شاخص تنش آبی گیاه نیشکر در دو روش آبیاری سطحی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

محسن اکبری چمنی^۱، امیر سلطانی محمدی^۲، سعید برومندنسب^۳، علی شینی دشتگل^۴

تاریخ ارسال: ۱۴۰۱/۰۴/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۱۰

مقاله پژوهشی

چکیده

با استفاده از دمای پوشش سبز گیاه پارامتری کاربردی تحت عنوان شاخص تنش آبی گیاه تعیین گردید که این شاخص یکی از روش‌های بررسی وضعیت آب مورد نیاز گیاه می‌باشد و می‌توان از آن به‌عنوان یک ابزار مناسب جهت مدیریت آبیاری در مزرعه استفاده کرد. لذا این تحقیق با هدف تعیین شاخص تنش آبی گیاه نیشکر در دو روش آبیاری سطحی (CI) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) در ایستگاه تحقیقاتی شماره یک مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، برای خردادماه در سال ۱۴۰۱ انجام شد. مزارع شامل کشت بازروی سوم (Ratoon 3)، از نوع واریته CP69-1062 و با چهارجویچه در هر دو روش انتخاب شد. ابتدا معادله خط مبنای بالا و پایین برای روش آبیاری سطحی در خردادماه به ترتیب $(Tc-Ta)_{III}=1.7$ و $(Tc-Ta)_{III}=1.27-0.09VPD$ تعیین شد. سپس با استفاده از معادلات خطوط مبنای روش آبیاری سطحی، متوسط شاخص تنش آبی گیاه برای روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و آبیاری سطحی در خردادماه به ترتیب 0.28 و 0.66 محاسبه شد و معادله‌ی به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری گیاه نیشکر در خردادماه ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: شاخص تنش آبی گیاه، دمای برگ، نیشکر، خط مبنای بالا و پایین

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهیدچمران اهواز، ایران
09130242154.mohsenakbariii94@gmail.com

^۲ دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران، a.soltani@scu.ac.ir

^۳ استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهیدچمران اهواز، ایران، boroomand@scu.ac.ir

^۴ مدیر گروه تحقیقات آبیاری و زهکشی، مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، sheinidasht1971@gmail.com

مقدمه

تنش‌های محیطی یکی از مؤثرترین عوامل محدودکننده عملکرد محصولات زراعی می‌باشند. از جمله مهم‌ترین تنش‌های محیطی، تنش آبی گیاه و یا کمبود آب می‌باشد که به شرایطی اطلاق می‌گردد که سلول‌ها و بافت‌های گیاه در شرایط آماس کامل نباشند. چنین شرایطی زمانی اتفاق می‌افتد که تعادل مناسب بین عمل جذب آب و تعرق وجود نداشته باشد که معمولاً در اواسط روز به علت تأخیر بین جذب و تعرق مشاهده می‌شود (طاهری‌قناد و همکاران، ۱۳۸۵).

تحقیقات نشان می‌دهد که اندازه‌گیری وضعیت آب در گیاه و استفاده از شاخص‌های گیاهی شامل رنگ و شادابی گیاه، مقدار آب نسبی، پتانسیل آب برگ، تجزیه گیاه، مقاومت روزنه‌ای و دمای پوشش سبز گیاه می‌تواند تخمین بهتری از شدت تنش وارده به گیاه را ارائه نماید و لذا به منظور مدیریت بهتر آبیاری در مزارع مورد استفاده قرار گیرد (شاهرخ‌نیا، ۱۳۹۴؛ عنابی میلانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

از مؤثرترین روش‌های غیرمخرب در تعیین وضعیت آبی گیاه، استفاده از دمای پوشش سبز گیاه می‌باشد که یک شاخص قابل اطمینان برای سنجیدن تنش آبی می‌باشد (فیتزجرالد و همکاران^۱، ۲۰۰۶).

با استفاده از این روش (استفاده از دمای پوشش سبز گیاه)، پارامتری کاربردی تحت عنوان شاخص تنش آبی گیاه^۲ (CWSI) تعیین می‌شود. این شاخص بیشتر برای استفاده در مناطق خشک و نیمه‌خشک توسعه یافته است و در مناطق مرطوب به دلیل بیشتر بودن دمای پوشش سبز از دمای هوا، کارایی کمتری دارد. مقدار عددی CWSI بین صفر و یک می‌باشد. صفر نشان‌دهنده این است که گیاه با تنش آبی مواجه نبوده و ایده‌آل‌ترین شرایط را از لحاظ انجام تعرق دارا می‌باشد، اما عدد یک نشان‌دهنده حداکثر تنش آبی وارده به گیاه و توقف کامل تعرق می‌باشد (ایدسو و همکاران^۳، ۱۹۸۱).

تحقیقات نشان داد با آنکه در محاسبه شاخص تنش آبی گیاه، از مقادیر رطوبت خاک و گیاه استفاده نمی‌شود و فقط انعکاس حرارتی گیاه لحاظ می‌شود، اما این شاخص می‌تواند معیار مناسبی برای تعیین وضعیت آب گیاه باشد (فیضی‌اصل و همکاران، ۲۰۱۴).

شاخص تنش آبی گیاه تابع اختلاف دمای هوا (Ta) و دمای برگ (Tc) می‌باشد، که می‌تواند وضعیت تنش آبی گیاه را نشان دهد و این شاخص اولین بار توسط ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) ارائه شد. برای درک بهتر شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو ابتدا باید خط مبنای پایین و بالا را معرفی کرد. خط مبنای پایین تنش معرف شرایطی می‌باشد که در آن گیاه از نظر تأمین آب از ناحیه ریشه با هیچ محدودیتی روبه‌رو نبوده و میزان تبخیرپذیری هوا نیز در محدوده حداکثر مقدار خود می‌باشد، بنابراین شدت تعرق گیاه در این حالت برابر با شدت تعرق پتانسیل است. رابطه (۱) خط مبنای پایین را نشان می‌دهد:

$$(1) \quad (T_c - T_a)_{II} = a - b(VPD)$$

$(T_c - T_a)_{II}$: اختلاف دمای برگ و هوا در شرایط عدم تنش برحسب درجه سلسیوس می‌باشد، a و b: ضرایب خطی معادله و VPD^4 : کمبود فشار بخار هوا برحسب میلی-بار، که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$(2) \quad VPD = 10 \exp\left(\frac{16.78T_a - 116.9}{T_a - 237.3}\right) \left(1 - \frac{RH}{100}\right)$$

T_a : دمای هوا بر حسب سلسیوس

RH: رطوبت نسبی بر حسب درصد

خط مبنای بالایی، معرف حداکثر مقداری می‌باشد که می‌توان برای اختلاف دمای برگ و هوای مجاور توقع داشت. زمانی که اختلاف دمای گیاه و هوا به این میزان افزایش پیدا کند عمل تعرق به‌طور کامل متوقف خواهد شد. طبق گفته ایدسو (۱۹۸۱)، برای توقف کامل تعرق بایستی فشار بخار

¹ Fitzgerald et al.

² Crop Water Stress Index

³ Idso et al.

⁴ Vapor Pressure Deficit



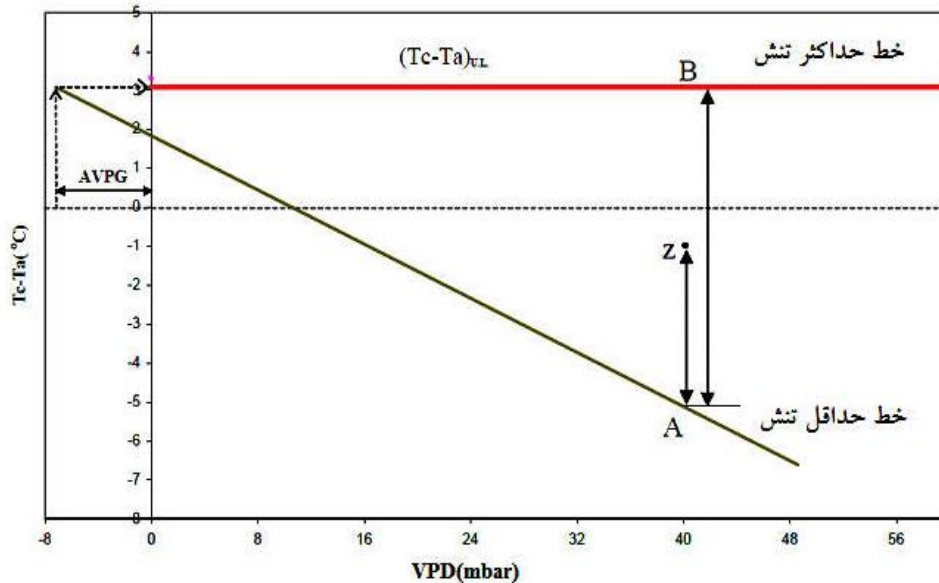
پس از تعیین خط مبنای پایین و بالایی تنش، شاخص تنش آبی گیاه را می‌توان به صورت رابطه (۵) ارائه داد:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{ul}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}} = \frac{(T_c - T_a)_m - (a - bVPD_m)}{h - (a - bVPD_m)} \quad (5)$$

$(T_c - T_a)_m$: اختلاف دمای برگ و هوا روز قبل از آبیاری بر حسب درجه سلسیوس می‌باشد، $(T_c - T_a)_{ll}$: اختلاف دمای برگ و هوا از معادله خط مبنای پایین برای VPD مشخص، $(T_c - T_a)_{ul}$: مقداری ثابت برای خط مبنای بالای تنش می‌باشد.

شکل (۱)، موقعیت خط مبنای بالا و پایین را نشان می‌دهد.

در زمینه تعیین CWSI، تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور انجام شده است



شکل (۱): موقعیت خط مبنای بالا و پایین برای محاسبه تنش آبی گیاه (روحانی و همکاران، ۱۳۹۲)

تحقیقی را در مزارع کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی بر روی رقم CP96-1062 از ماه خرداد تا شهریور در سنین مختلف (کشت، بازروئی اول، دوم و سوم) انجام دادند. در این تحقیق معادله خط مبنای بدون تنش $(T_c - T_a)_{ll} = 2.22 - 0.14VPD$ و معادله خط مبنای تنش کامل در بازه ۳-۴ درجه سلسیوس در نوسان بوده و همچنین مقدار بهینه شاخص تنش آبی گیاه برای شروع آبیاری برای تمام سنین ۰/۵ گزارش شده است. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی بین شاخص تنش آبی گیاه با رطوبت ناحیه

محیط به اندازه شیب فشار بخار^۱ (VPG) افزایش یابد تا بتواند با گرادیان فشار بخار مقابله نماید. رابطه (۳) خط مبنای بالایی تنش را نشان می‌دهد:

$$(T_c - T_a)_{ul} = a + b|VPG| \quad (3)$$

$(T_c - T_a)_{ul}$: اختلاف دمای برگ و دمای هوا در شرایط خط مبنای بالایی بر حسب درجه سلسیوس و VPG: شیب فشار بخار اشباع بر حسب میلی‌بار. خط مبنای بالایی تنش را می‌توان به صورت رابطه (۴) نشان داد:

$$(T_c - T_a)_{ul} = h \quad (4)$$

h: مقداری ثابت بر حسب درجه سلسیوس و مستقل از کمبود فشار بخار می‌باشد.

روحانی و همکاران (۱۳۹۲)، براساس اندازه‌گیری دمای برگ و هوا و کمبود فشار بخار اشباع گیاه نیشکر در اراضی کشت و صنعت سلمان فارسی، معادله خط مبنای بالا و پایین تنش را برای ماه خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهرماه تعیین نمودند و همچنین برای کل دوره رشد به ترتیب $(T_c - T_a)_{ll} = 0.78 - 0.109VPD$ ارائه نمودند. ویسی و همکاران (۱۳۹۵)، به منظور برنامه‌ریزی صحیح و زمان دقیق آبیاری از طریق اندازه‌گیری دمای پوشش گیاهی و اندازه‌گیری رطوبت خاک ناحیه ریشه گیاه،

¹ Vapor Pressure Gradient

نصرالهی و همکاران (۱۳۹۹)، مقدار آستانه شاخص تنش آبی گیاه لوبیاچیتی برای برنامه‌ریزی آبیاری، برای دو روش آبیاری سطحی و آبیاری تیپ به ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۱۹ به دست آوردند.

متین سزنا^۱ و همکاران (۲۰۱۴)، شاخص تنش آبی گیاه فلفل قرمز را با دو روش آبیاری قطره‌ای و آبیاری جویچه‌ای تحت رژیم‌های آبیاری مختلف ارزیابی کردند، این تحقیق در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۱ در منطقه مدیترانه ترکیه انجام شده است. این محققین بیان کردند که حد آستانه شاخص تنش آبی گیاه فلفل قرمز برای دو روش آبیاری قطره‌ای و آبیاری جویچه‌ای به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۳۸ می‌باشد.

برونینی و تورکو^۲ (۲۰۱۸)، در برزیل به منظور تعیین زمان آبیاری گیاه نیشکر از شاخص تنش آبی گیاه روزانه (اختلاف دمای برگ و هوای اطراف) استفاده کردند. این محققین بیان کردند جهت به دست آوردن زمان مناسب آبیاری در هر مرحله از رشد گیاه نیشکر، اختلاف دمای برگ و هوا اطراف در محدوده‌ای بین ۲ تا ۵ درجه سلسیوس باشد که در مرحله پنجه‌زنی بحرانی تر است.

متین سزنا و همکاران (۲۰۱۹)، با انجام تحقیقی بیان کردند که شاخص تنش آبی گیاه به خوبی نشان‌دهنده تغییرات در وضعیت آب در سطوح مختلف آبیاری است. آنها اعلام کردند که بین شاخص تنش آبی گیاه و هدایت روزنه-ای همبستگی بالایی وجود دارد که از آن برای تعیین زمان مناسب آبیاری می‌توان استفاده کرد.

کومار^۳ و همکاران (۲۰۲۰)، در منطقه هیمال هند برای خردل به منظور برنامه‌ریزی آبیاری از شاخص تنش آبی گیاه تحت تیمارهای مختلف آبیاری شامل ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد تخلیه رطوبتی، آبیاری کامل و بسیار خشک (تنش کامل) استفاده شد و در تیمار ۳۰ درصد تخلیه رطوبتی، مقدار شاخص تنش آبی گیاه که منجر به بیش-ترین عملکرد و حداکثر کارایی مصرف آب می‌شود معادل ۰/۴ گزارش دادند.

اوچاک و سچمه^۴ (۲۰۲۱)، در شرایط اقلیمی نیمه-خشک ترکیه برای آفتاب‌گردان، به منظور برنامه‌ریزی آبیاری از شاخص تنش آبی گیاه استفاده کردند. این تحقیق

ریشه غیرقابل قبول است و به نظر می‌رسد علاوه بر تنش آبی، تنش شوری ناشی از شوری آب آبیاری مصرفی نیز به گیاه نیشکر وارد می‌شود.

فتاحی و همکاران (۱۳۹۸)، به منظور برنامه‌ریزی آبیاری گیاه ذرت علوفه‌ای با استفاده از دمای سطح برگ در شرایط اقلیمی شمال اصفهان، پنج تیمار آبیاری شامل ۱۰۰، ۸۷، ۶۳، ۳۷ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک و در چهار تکرار انجام دادند. نتایج نشان داد که تخلیه مجاز رطوبتی از ۳۷ به ۱۰۰ درصد، اختلاف دمایی سطح برگ نسبت به دمایی هوا حدود ۴ درجه سلسیوس شده است و برای تیمار ۷۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی، معادله خط مبنای پایین تنش گیاه ذرت معادل $(Tc-Ta)_{ul} = -1.7105 - 1.4101VPD$ و معادله خط مبنای بالای تنش گیاه ذرت به صورت $(Tc-Ta)_{ul} = 2.3$ بود و مقدار شاخص تنش آبی گیاه را برای برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس تیمار ۷۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک برابر ۰/۲۴ به دست آوردند.

خیری شلمزاری و همکاران (۱۳۹۸)، حد آستانه شاخص تنش آبی گیاه برای سیب زمینی، جهت رسیدن به بالاترین عملکرد در روش آبیاری قطره‌ای سطحی را، در محدوده‌ی ۰/۲-۰/۱۶ گزارش کردند.

خورسند و همکاران (۱۳۹۸)، به منظور بررسی توانایی شاخص تنش آبی گیاه در برآورد میزان عملکرد و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای و ماش سیاه، تحقیقی در قالب طرح بلوک-های کاملاً تصادفی شامل سه تیمار آبیاری ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه در سه تکرار در ارومیه انجام دادند. برای هر سه تیمار مقادیر متوسط شاخص تنش آبی گیاه ذرت دانه‌ای به ترتیب برابر ۰/۵۳، ۰/۴۴ و ۰/۲۸ و برای ماش سیاه به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۲۳ و ۰/۱۵ محاسبه نمودند. این محققین بیان کردند که بین شاخص تنش آبی گیاه با عملکرد دانه و بهره‌وری آب ذرت دانه‌ای و ماش سیاه همبستگی بالایی وجود دارد، که بیشترین عملکرد دانه ماش سیاه و ذرت دانه‌ای به ترتیب در شاخص تنش آبی گیاه معادل ۰/۱۵ و ۰/۲۸ حاصل شد. از این‌رو محققین این مقادیر را برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت دانه‌ای و ماش سیاه در منطقه ارومیه توصیه کردند.

³ Kumar

⁴ Ucak and Secme

¹ Metin sezen

² Brunini and Turco



باشد. همچنین در روش آبیاری سطحی (جویچه‌ای با انتهاسته)، طول مزرعه ۲۴۰ متر و فاصله جویچه‌ها از هم ۱/۸۳ متر می‌باشد و جویچه‌ها به وسیله لوله‌های دریچه‌دار هیدروفوم آبیاری می‌شوند.

هر دو مزرعه از نوع واریته CP69-1062 و با چهار جویچه بود. اقلیم منطقه بر اساس تقسیم‌بندی دومارتن^۱ گرم و خشک محسوب می‌شود. خاک مزارع سیلتی کلی لوم تعیین شد. منبع تأمین آب آبیاری، از رودخانه کارون بود.

محاسبه شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو

برای محاسبه شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو، نیاز به اندازه‌گیری دمای برگ است. اندازه‌گیری دمای برگ توسط دماسنج مادون قرمز مدل MIB 393 صورت گرفت. بدین منظور از چهار جهت و با چهار تکرار و در هر چهار جویچه ۱۶ دما قرائت و متوسط مقادیر به عنوان دمای برگ لحاظ شد. برای تعیین موقعیت خط مبنای پایین، در روش آبیاری سطحی، دمای برگ از ساعت ۸ صبح الی ۱۴ بعد از ظهر، توسط دماسنج مادون قرمز اندازه‌گیری شد، همزمان دمای هوای خشک و رطوبت نسبی از ایستگاه هواشناسی مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر تهیه گردید. با استفاده از دمای هوا، دمای برگ و رطوبت نسبی، خط رگرسیونی بین پارامترهای اختلاف دمای برگ و هوا و VPD برطبق رابطه (۱) رسم شد. با محاسبه VPG و داشتن ضرایب a و b، از معادله خط مبنای پایین تنش، خط مبنای بالای تنش تعیین شد. به منظور محاسبه CWSI در روش آبیاری سطحی، دمای برگ در روزهای قبل از آبیاری از ساعت ۱۱ ظهر الی ۱۵ بعد از ظهر هر ساعت توسط دماسنج مادون قرمز از چهار جهت، به همراه دمای هوا و رطوبت نسبی اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور محاسبه CWSI در روش آبیاری قطره‌ای زیر سطحی، نیاز به اندازه‌گیری دمای برگ و دمای هوا و رطوبت نسبی در طول روز (از ساعت ۱۱ ظهر الی ۱۵ بعد از ظهر) است. مطابق رابطه (۵)، با داشتن ضرایب a و b از معادله خط مبنای پایین و همچنین داشتن خط مبنای بالا از روش آبیاری سطحی، و با محاسبه $(Tc-Ta)_m$ (میانگین اختلاف دمای برگ و هوا از

را با سه تیمار آبیاری شامل ۱۰۰، ۷۵ و ۳۵ درصد تخلیه رطوبت خاک در عمق ۹۰ سانتی‌متری با دور آبیاری ۷ روزه انجام دادند. نتایج، خط مبنای پایین و خط مبنای بالا را به صورت $(Tc-Ta)_{II}=0.749-2.528VPD$ و $(Tc-Ta)_{III}=3.27$ تعیین نمودند. این محققین مقدار آستانه شاخص تنش آبی گیاه جهت برنامه‌ریزی آبیاری گیاه آفتاب‌گردان را ۰/۳۳ اعلام کردند.

بررسی منابع نشان‌دهنده استفاده از شاخص CWSI برای تعیین تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان مختلف در شرایط متفاوت می‌باشد اما طبق بررسی این محققان، تاکنون مطالعه‌ای در خصوص تعیین شاخص تنش آبی برای نیشکر تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با دور آبیاری روزانه انجام نگرفته است. لذا این تحقیق تعیین شاخص تنش آبی گیاه نیشکر تحت دو روش آبیاری سطحی (جویچه‌ای انتهاسته) و قطره‌ای زیرسطحی در ایستگاه تحقیقاتی شماره یک مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان را مورد بررسی قرار می‌دهد.

مواد روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

این تحقیق، در ایستگاه تحقیقاتی شماره یک مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی خوزستان، واقع در کیلومتر ۳۰ جاده اهواز-آبادان با عرض شمالی ۳۰ درجه و ۵۹ دقیقه و طول شرقی ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه و با ارتفاع حدود ۷/۶۳ متر از سطح دریا و در سال ۱۴۰۱-۱۴۰۰ انجام شد.

روش آبیاری

در این تحقیق، از روش‌های آبیاری جویچه‌ای انتهاسته (CI)، روش مرسوم آبیاری در مزارع کشت و صنعت نیشکر) و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (SDI) استفاده شد. آرایش روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به صورت یک طرفه و لوله اصلی در ابتدای مزرعه قرار گرفت، طول هر لترال ۲۴۰ متر، فاصله لترال‌ها از هم ۱/۸۳ متر، فاصله قطره چکان‌ها از هم ۵۰ سانتی‌متر و عمق کارگذاری آن‌ها ۲۰ سانتی‌متر می‌-

¹ Sunstream



محاسبه خطوط مبنای پایین و بالا

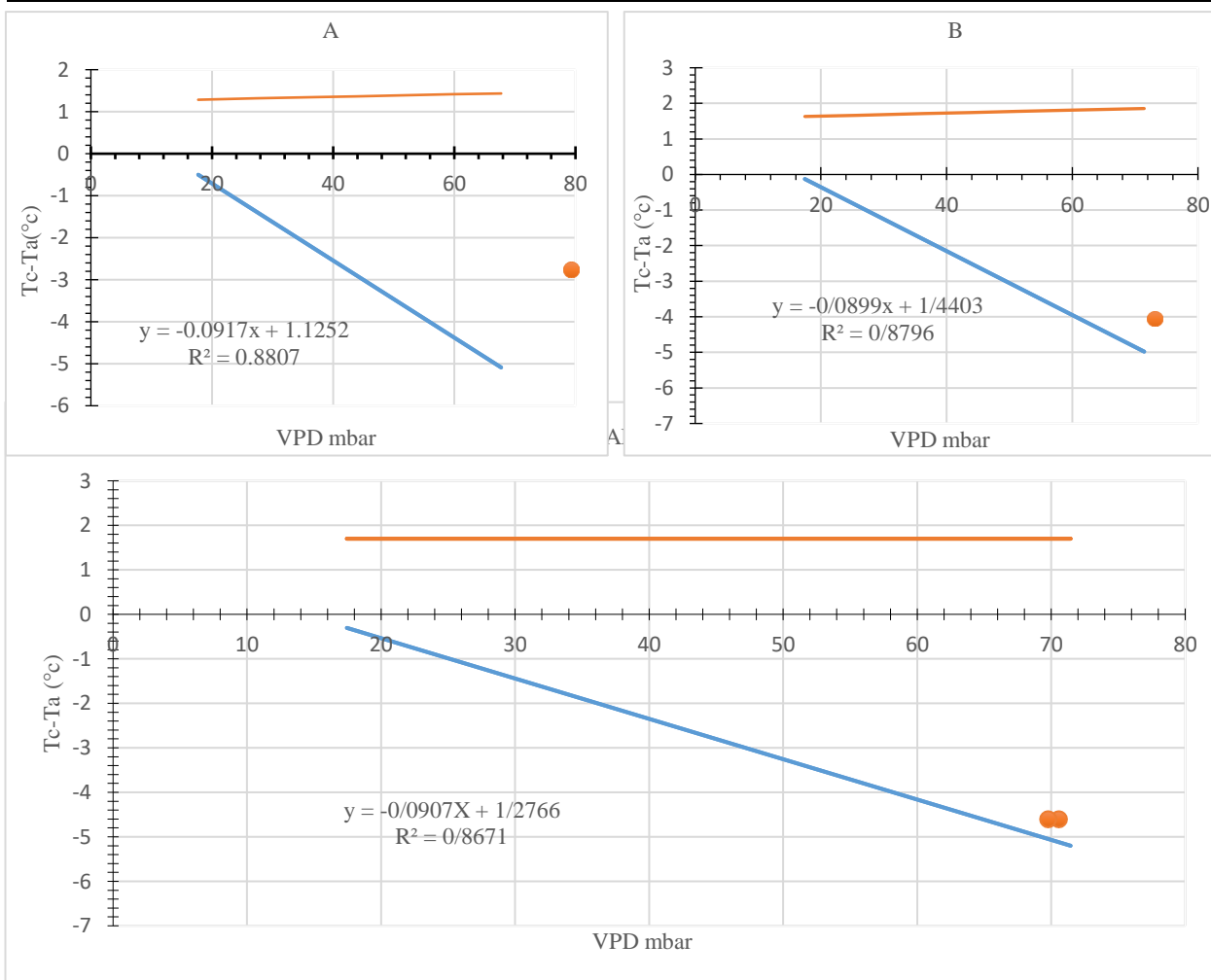
باتوجه به معادلات (۱) و (۳) و داده‌های رطوبت نسبی، دمای هوا و دمای برگ در روزهای بعد از آبیاری معادلات خط مبنای پایین و بالا در خردادماه برای روش آبیاری سطحی تعیین و در جدول (۱) ارائه شد. نمودار این خطوط برای خردادماه در شکل (۲)، ارائه شده است.

ساعت ۱۱ ظهر الی ۱۵ بعد از ظهر، برحسب درجه سلسیوس) و محاسبه VPDm (میانگین کمبود فشار بخار هوا از ساعت ۱۱ ظهر الی ۱۵ بعد از ظهر، برحسب میلی‌بار)، شاخص تنش آبی گیاه، به‌روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی محاسبه گردید.

نتایج و بحث

جدول (۱): معادلات خط مبنای پایین و بالا در خردادماه برای روش آبیاری سطحی

معادله خط مبنای پایین	R ²	معادله خط مبنای بالا	تاریخ
$(Tc-Ta)_{ll}=1.12-0.0917VPD$	۰/۸۸	$(Tc-Ta)_{ul}=1.36$	۱۴۰۱/۳/۱۵
$(Tc-Ta)_{ll}=1.44-0.089VPD$	۰/۸۷	$(Tc-Ta)_{ul}=1.74$	۱۴۰۱/۳/۲۸
$(Tc-Ta)_{ll}=1.27-0.09VPD$	۰/۸۶	$(Tc-Ta)_{ul}=1.7$	خرداد ماه





شکل (۲): نمودار خط مبنای پایینی و بالایی برای آبیاری سطحی در تاریخ ۱۴۰۱/۳/۱۵ (A) و در تاریخ ۱۴۰۱/۳/۲۸ (B) و برای خردادماه (AB)

متفاوتی خواهند داشت. بنابراین برای به کارگیری از خطوط مبنای در محاسبه CWSI، پیشنهاد می‌شود که این خطوط مبنای برای هر ماه جداگانه ارائه شوند (برومندنسب و همکاران، ۲۰۰۴).

تعیین شاخص تنش آبی گیاه

با مشخص شدن معادله خطوط مبنای بالا و پایین و محاسبه میانگین اختلاف دمای برگ و هوا در روز قبل از آبیاری، شاخص تنش آبی گیاه طبق رابطه (۵)، برای خردادماه محاسبه شد. با توجه به مطالب گفته شده در بخش قبل و با داشتن ضرایب a و b از معادله خط مبنای پایین و همچنین با داشتن خط مبنای بالا از روش آبیاری سطحی، مقدار CWSI روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی محاسبه شد. نتایج آن در جداول (۲) و (۳) ارائه شد.

باتوجه به اعداد ارائه شده در جداول (۲) و (۳)، مقدار شاخص تنش آبی گیاه در ۱۸ خردادماه، معادل ۰/۳۶ و مقدار شاخص تنش آبی گیاه در ۲۹ خردادماه معادل ۰/۱۹ می‌باشد که مقادیر متوسط آنها به عنوان CWSI برای خردادماه در نظر گرفته شد بنابراین مقدار ۰/۲۸ در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و ۰/۶۶ در روش آبیاری سطحی تعیین شد.

ویسی و همکاران (۱۳۹۵)، مقدار شاخص تنش آبی گیاه را برای تمام سنین نیشکر ۰/۵ محاسبه نمودند.

شاخص تنش آبی گیاه با تغییرات تبخیر و تعرق همبستگی منفی و بالایی دارد، به این صورت که با افزایش تبخیر و تعرق میزان شاخص تنش آبی گیاه کاهش پیدا می‌کند (نصرالهی و همکاران، ۱۳۹۹).

بنابراین با توجه به مقادیر شاخص تنش آبی گیاه برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی و سطحی مشاهده می‌شود که در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، دسترسی به آب بهتر بوده و گیاه از وضعیت رطوبتی مطلوب‌تری نسبت به روش سطحی برخوردار است.

شکل (۲)، نشان می‌دهد که با افزایش دما، گیاه با عمل تعرق دمای خود را کاهش می‌دهد و باعث افزایش اختلاف دمای برگ و هوا در ساعات ظهر می‌شود که در نتیجه کمبود فشار بخار اشباع افزایش پیدا می‌کند. در این شکل محدوده تغییرات کمبود فشار بخار اشباع در خردادماه بین ۱۰ میلی‌بار تا ۷۰ میلی‌بار متغیر می‌باشد.

ارتباط خطی بین VPD و (Tc-Ta) نشانگر این است که با افزایش VPD، اختلاف (Tc-Ta) افزایش پیدا می‌کند که در نتیجه باعث خنک نگه‌داشتن گیاه می‌شود (قربانی و همکاران، ۱۳۹۴).

ویسی و همکاران (۱۳۹۵)، معادله خط مبنای پایین تنش آبی برای گیاه نیشکر برای کل دوره‌ی رشد را به صورت رابطه (۶)، ارائه نمودند:

$$(Tc-Ta)_{ll}=2.22-0.14VPD \quad (6)$$

همچنین معادله خط مبنای تنش کامل را که در بازه ۳-۴ درجه سلسیوس در نوسان بود، محاسبه نمودند. روحانی و همکاران (۱۳۹۲)، معادله خط مبنای پایین و بالایی تنش را برای گیاه نیشکر در خردادماه به صورت معادله (۷) و (۸)، ارائه نمودند:

$$(Tc-Ta)_{ll}=0.12-1.22VPD \quad (7)$$

$$(Tc-Ta)_{ul}=1.64 \quad (8)$$

برومندنسب و همکاران (۱۳۸۳)، معادله خط مبنای پایین گیاه ذرت را برای دو ماه اردیبهشت و خرداد محاسبه کردند. نتایج نشان داد که شیب خط در دو ماه اردیبهشت و خرداد به یکدیگر نزدیک است اما عرض از مبدأ آن‌ها با یکدیگر متفاوت هستند که طبق گفته محققین این اختلاف مقدار به دلیل تعرق بیشتر در خردادماه می‌باشد.

از این رو گیاهان در شرایط نبود تنش و بسته به مرحله رشد خود، پتانسیل جذب آب و به‌موجب آن مقدار تعرق



جدول (۲): محاسبات مربوط به شاخص تنش آبی در ۱۸ خردادماه در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

ساعت	(Tc-Ta) (°c)	RH%	(Tc-Ta) _m	(VPD) _m	(Tc-Ta) _{ul}	a	b	CWSI
11	-2.86	34.6						
12	-3.4	28.7						
13	-1.2	24.7	-1.91	58.88	1.7	1.27	0.09	0.36
14	-1	22						
15	-1.09	27						

جدول (۳): محاسبات مربوط به شاخص تنش آبی در ۲۹ خردادماه در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی

ساعت	(Tc-Ta)(°c)	RH%	(Tc-Ta) _m	(VPD) _m	(Tc-Ta) _{ul}	a	b	CWSI
11	-4.6	17						
12	-5.3	13						
13	-3.8	15	-3.7	68.9	1.7	1.27	0.09	0.19
14	-2.5	20						
15	-2.1	23.6						

اندازه‌گیری شده از ساعت ۱۱ صبح الی ۱۴ بعد از ظهر در شرایط حداکثر تنش روزانه، می‌توان زمان آبیاری را تشخیص داد. به این صورت که اگر مقدار اندازه‌گیری شده از مقدار مجاز محاسبه شده کوچک‌تر بود، زمان آبیاری فرا نرسیده است، اما اگر مقدار اندازه‌گیری شده از مقدار مجاز محاسبه شده بیشتر باشد، زمان آبیاری فرا رسیده است.

نتیجه‌گیری

براساس نتایج این تحقیق، متوسط شاخص تنش آبی گیاه برای آبیاری سطحی و قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۰/۶۶ و ۰/۲۸ به دست آمد. همچنین معادلات خطوط مبنای بالا و پایین در خردادماه آبیاری سطحی به صورت زیر تعیین گردید:

$$(Tc-Ta)_{II}=1.27-0.09VPD$$

تعیین زمان آبیاری

با داشتن مقدار CWSI و براساس رابطه (۵)، برنامه-ریزی آبیاری سطحی و قطره‌ای زیرسطحی به صورت معادله‌های (۹) و (۱۰) ارائه شد:

$$(Tc-Ta)_m=1.55-0.03VPD_m \quad (9)$$

$$(Tc-Ta)_m=1.39-0.065VPD_m \quad (10)$$

برای تشخیص زمان آبیاری سطحی در خردادماه، باید در روزهای بعد از آبیاری از ساعت ۱۱ صبح الی ۱۴ بعد از ظهر، دمای برگ و دمای هوا به همراه رطوبت نسبی اندازه-گیری شود و مقدار کمبود فشار بخار اشباع را برای این بازه زمانی محاسبه و با جایگذاری مقدار کمبود فشار بخار اشباع در معادلات بالا، $(Tc-Ta)_m$ محاسبه گردد. از مقایسه $(Tc-Ta)_m$ (مقدار مجاز محاسبه شده) با $(Tc-Ta)_a$ (مقدار



تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت مالی دانشگاه شهید چمران اهواز با شماره پژوهانه SCU.WI1400.273 تشکر و قدردانی می کنند. از مدیر عامل محترم شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی و همچنین رئیس محترم مؤسسه تحقیقات و آموزش توسعه نیشکر و صنایع جانبی که در مهیا کردن بستر انجام این پژوهش همکاری نمودند تقدیر و تشکر بعمل می آید.

$$(Tc-Ta)_{ul}=1.7$$

براساس مقدار CWSI، معادله زمان آبیاری سطحی (جویچه‌ای انتهابسته) و قطره‌ای زیرسطحی در خردادماه به ترتیب به صورت $(Tc-Ta)_m=1.55-0.03VPD_m$ و $(Tc-Ta)_m=1.39-0.065VPD_m$ تعیین شد.

منابع

- احمدی، ح.، ع. ح. نصرالهی، م. شریفی پور و ح. عیسوند. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی آبیاری سویا با استفاده از اختلاف دمای هوا و دمای پوشش گیاهی، مجله مدیریت آب آبیاری، دوره ۷، شماره ۱، صفحات ۱۲۱ تا ۱۳۳.
- برومندنسب، س.، س. طاهری قناد و م. معیری. ۱۳۸۳. استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط خوزستان. مجله علمی کشاورزی، دانشکده کشاورزی اهواز، شماره ۲۷، صفحات ۴۷-۵۶.
- خیری شلمزاری، ک.، ا. سلطانی محمدی، س. برومندنسب و ب. حقیقتی بروجنی. ۱۳۹۸. ارزیابی شاخص تنش آبی گیاه برای سیبزمینی تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی. مدیریت آب و آبیاری، دوره ۹، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۸، صفحات ۴۲-۲۹.
- خورسند، ا.، و. رضوردی نژاد، ح. عسگرزاده، ا. مجنون‌هریس، ا. رحیمی، س. بشارت و ع. ا. صدرالدینی. ۱۳۹۸. تعیین شاخص تنش آبی (CWSI) جهت تشخیص زمان تنش آبی محصول ذرت در منطقه ارومیه. تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۴، صفحات ۸۸۴-۸۷۳.
- روحانی، ه.، ع. هوشمند، ع. ناصر و م. الباجی. ۱۳۹۲. تعیین خطوط مبنای بالا و پایین تنش آبی به روش ایدسو جهت تعیین زمان آبیاری نیشکر (مطالعه موردی: اراضی شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی). چهارمین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی.
- شاهرخ‌نیا، م. ع. ۱۳۹۴. برنامه‌ریزی آبیاری مزارع و باغ‌ها با اندازه‌گیری دمای برگ گیاه. مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس، نشریه فنی، شماره ۷.
- طاهری قناد، س.، م. الماسی و م. حبیبیان. ۱۳۸۵. بررسی مدیریت و بهره‌وری مصرف آب در مزارع با استفاده از داماسنج مادون قرمز. اولین همایش منطقه‌ای بهره‌برداری بهینه از منابع آب حوضه‌های کارون و زاینده‌رود.
- عنایی میلانی، ا.، م. نیشابوری، م. مصدقی و د. زارع‌حق. ۱۳۹۵. روابط بین پتانسیل آب برگ، تنش درجه‌روز و تخلیه آب قابل استفاده در درخت بادام تحت تنش شوری، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۲، صفحات ۲۰۶-۱۸۹.
- فتاحی، خ.، ح. بابازاده، پ. نجفی و ح. صدقی. ۱۳۹۸. برنامه‌ریزی آبیاری ذرت علوفه‌ای (SC-701) با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه در شمال اصفهان. علوم و مهندسی آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز. جلد ۴۲، شماره ۱، تابستان ۹۸، صفحات ۱۰۵-۱۱۸.
- قربانی، م.، س. برومندنسب، ا. سلطانی محمدی و س. مینایی. ۱۳۹۴. برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تابستانه تحت دو نوع آبیاری سطحی و بارانی با استفاده از شاخص CWSI در شرایط اقلیمی اهواز. علوم مهندسی آبیاری (مجله علمی پژوهشی)، جلد ۳۸، شماره ۴، زمستان ۹۴، صفحات ۷۳-۶۳.
- نوری، س.، ع. ح. نصرالهی، ع. ملکی و م. شریفی پور. ۱۳۹۹. برآورد میزان رطوبت خاک با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه جهت مدیریت آبیاری لوبیاچیتی. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۱، جلد ۱۴، صفحات ۱۴۵-۱۳۶.



- ویسی، ش.، ع. ع. ناصری و س. حمزه. ۱۳۹۵. تعیین زمان آبیاری مزارع نیشکر با استفاده از دماسنج مادون قرمز حرارتی و رطوبت خاک ناحیه ریشه. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد ۲۳، شماره ۶، صفحات ۲۵۱-۲۳۵.
- نصرالهی، ع. ح.، ح. احمدی، ی. سبزواری و س. نوری. ۱۳۹۹. مقایسه تغییرات شاخص تنش آبی گیاه لوبیا چیتی در شرایط آبیاری سطحی و تیپ با استفاده از دماسنج مادون قرمز. نشریه علوم آب و خاک، شماره ۲۴، جلد ۲، صفحات ۲۶-۱۳.
- Boroumand Nasab, S., S. Taheri Ghannad and M. Moayeri. 2004. Application of Green Plant Cover Temperature for Irrigation Planning of Spring Corn in Khuzestan Conditions. *Scientific Journal of Agriculture*, 27: 56-47.
- Brunini, R.G and J.E. Pitelli Turco. 2018. Water stress index on sugarcane in different developmental phases. *Ciencia e Agrotecnologia*, 42(2):204-215.
- Fitzgerald, G. J., Rodriguez, D., Christensen, L. K., Belford, R., Sadras, V. O. and T. R. Clarke. 2006. Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rain-fed and irrigated wheat environments. *Journal of Precision Agriculture*, 7(4): 233-248.
- Feyzi Asl, V., A. Fotovat, A. Asteraky, A. Lakzian and A. Mousavi Shlamani. 2014. Determination of water balance and its critical stages in rainfed wheat using water stress index (CWSI). *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Technology)*, 28(4): 817-804.
- Idso, S. B., R. D. Jackson, P. J. Pinter, R. J. Reginato and J. L. Hatfield. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Journal of Agricultural Meteorology*, 24: 45-55.
- Kumar, N., R. Rustum, V. Shankar and A. J. Adeloje. 2021. Self-organizing map estimator for the crop water stress index. *Computers and Electronics in Agriculture*, 187:106232.
- Metin Sezen, S., A. Yazar, Y. Dasgan, S. Yucel, A. Akyildiz, S. Tekin and Y. Akhoundnejad. 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agricultural Water Management*, 143: 59-70.
- Sezen, S. M., A. Yazar and S. Tekin. 2019. Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulturae*, 245: 280-288.
- Ucak, A. B., and H. Secme. 2021. Determination of Irrigation Time Using Plant Water Stress Index Values of Second Crop Sunflower in Semi-Arid Climate Conditions. *Turkish Journal of Agriculture-Food Science and Technology*, 9(12): 2289-2295.