

**EXTENDED ABSTRACT**

**Scheduling Maize Irrigation by Crop Water Stress Index  
(CWSI) in North of Isfahan**

K. Fattahi<sup>1</sup>, H. Babazadeh<sup>2\*</sup>, P. Najafi<sup>3</sup> and H. Sedghi<sup>4</sup>

- 1- Department of Agricultural Systems Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- 2\* - Corresponding Author, Department of Agricultural Systems Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran ([h\\_babazadeh@srbiau.ac.ir](mailto:h_babazadeh@srbiau.ac.ir)).
- 3- Department of Water Engineering, Khorasgan Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
- 4- Department of Agricultural Systems Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Received: 16 May 2017

Revised: 23 September 2017

Accepted: 25 September 2017

**Keywords:** Deficit Irrigation, Leaf Surface Temperature, Total Available Water, Soil Water Deficit.  
**DOI:** 10.22055/jise.2017.22038.1579

**Introduction**

Nowadays, the world is facing increasing population and demand for food as well as shortage of fresh water supplies (Mangus et al., 2016). Deficit irrigation (DI) and urban wastewater utilization are two management solutions for the purpose of reducing fresh water consumption in agriculture. Due to the shortage of irrigation water resources and the increase of the area under cultivation, farmers in the northern part of Isfahan (viz., Borkhar), Iran, employ these two strategies. Precise irrigation planning could be of help in preventing water stress and optimum performance in plants. Water stress is considered one of the most important plant stresses, which is the most common and limiting factor for yield (Jackson et al., 1981; Scherrer et al., 2011; Zia et al., 2013).

Since 1970, canopy temperature has been accepted as an indicator of water stress because plants under stress close their stomata for preserving water and reducing stomatal conduction, decreasing transpiration, and increasing leaf temperature (Ballester et al., 2013).

One of the most reliable indicators is the crop water stress index (CWSI). Several studies have been conducted on irrigation scheduling using leaf surface temperature measurements. (Candogan et al., 2013; Orta et al., 2003). The difference in air temperature and leaf area was calculated from the difference in vapour pressure for different irrigation treatments in soybean and watermelon plants. Also, sorghum was studied by O'Shaughnessy et al. (2010) in different irrigation systems and the crop water stress index (CWSI) was calculated.

Mangus et al. (2016) examined the water stress index of corn in four stages of plant growth; their results showed that in the third stage of corn growth (i.e., in the flowering stage), the surface temperature of the leaf was higher and that the plant used the most energy for cob growth and thus shrinking transpiration from the plant. Based on the aforementioned studies, this study sought to compute the water stress index (CWSI) under irrigation treatments in the climate of North Isfahan in order to identify the irrigation time.

### Methodology

This study was carried out in Borkhar, north of Isfahan, Iran, during the crop year of 2013. The area is located at 32° 47' and 51° 45' longitude and latitude. The altitude of the area is 1950 m. The weather condition of Borkhar is warm and dry, the moisture content in the air is an average of 35%, and the maximum evapotranspiration (ETO) is 7 mm day<sup>-1</sup>.

This study was conducted with five irrigation treatments, where the amount of Total Available Water (TAW) was 37, 63, 75, 87, 100%, respectively, in four replications.

Single Cross maize 701 (SC-701) was selected as an appropriate plant. The growth period of corn was 125 days. It was planted in the crop year 2013, June 27, and was harvested in October 29. Regarding the pilot study and the measurement of parameters, each was done in an area of 500 m<sup>2</sup> in the farm. The maize crops were cultivated within 0.75 m between rows and 12 cm between the bushes. When the plants leaves reached a level that could be measured, data collection was started. Measurements were done between two irrigations (on sunny days) every hour from 8 a.m. to 6 p.m. Relative humidity (RH), air temperature (Ta), and leaf area temperature (TL) were measured near the leaf area and Soil Moisture (SM) was measured at the level of the plant shadow. The Vapour Pressure Deficit (VPD) was determined using air temperature and relative humidity (Monteith and Unsworth, 2013).

### Results and Discussion

The data indicated the position of the upper base lines under each treatment and showed that by increasing water stress, the upper and lower base lines were displaced. As a result of increasing water stress from T5 to T1, the linear gradient tilt (Tl-Ta) and VPD fell below the baseline from +0.2046 to -1.3529. On the other hand, as a result of increasing water stress from T5 to T1, the tensile base line rose from 1.3 to 5.

The CWSI was calculated on the basis of the lower and upper base line equations and the value of CWSI was calculated on the day after irrigation under each treatment. By increasing the acceptable drainage from 37% to 100%, the CWSI increased from 0.07 to 0.44.

The CWSI was calculated on the basis of the lower and upper base line equations and the value of CWSI was calculated on the day before irrigation under each treatment. As a result of increasing drainage volumes from 37% to 100%, the CWSI increased from 0.12 to 0.46.

### Conclusions

In this study, the CWSI was calculated in the days before irrigation in T1, T2, T3, T4 and T5 treatments, and its values were 0.12, 0.21, 0.24, 0.30 and 0.46, respectively. The results also showed that with soil moisture change from 100 to 37 percent, the CWSI was about 3.5 times higher. Accordingly, the CWSI can be used to plan irrigation. Comparison of yield of treatments showed that the best irrigation time is based on T3 treatment when the CWSI is less than 0.24. In addition, it maintains optimum performance of water saving in irrigation. Therefore, the CWSI can be used to plan irrigation.

### References

- 1- Ballester, C., Jimenez-Bello, M.A., Castel, J.R. and Intrigliolo, D.S., 2013. Usefulness of thermography for plant water stress detection in citrus and persimmon trees. *Agricultural Water Management*. pp.120–129.
- 2- Candogan, B. K., Shncik, M., Buyukcangaz, H. and C, Demirtas., 2013. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit irrigated soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] In sub-humid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 118, pp.113– 121.
- 3- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., and Pinter Jr, P.J., 1981. Canopy temperature as a drought stress indicator. *Water Resources Research*, 17, pp.1133–1138.

- 4- 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". *Computer and Electro in Agric.* 121, pp. 149–159.
- 5- Orta, A. H., Erdem, Y. and Erdem, T., 2003. Crop water stress index for Watermelon. *Scientia Horticulture*, 98, pp.121-130.
- 6- O'Shaughnessy, S. A., Evett, S. R., Colaizzi, P. D. and Howell, T. A., 2010. Automatic irrigation scheduling of grain sorghum using a CWSI and time threshold. *Decennial Irrigation Association Conference, December, Michigan*.
- 7- Scherrer, D., Bader, M. and Karl-Friedrich Korner, C., 2011. Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, pp.1632–1640.
- 8- Zia, S., Romano, G., Spreer, W., Sanchez, C., Cairns, J., Araus, J. L. and Müller, J., 2012. Infrared thermal imaging as a rapid tool for identifying water stress tolerant maize genotypes of different phenology. *Journal of Agronomy and Crop Science* 199(2), pp. 75–84.



© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## برنامه‌ریزی آبیاری ذرت علوفه‌ای (SC-701) با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه در شمال اصفهان

خدیدجه فتاحی<sup>۱</sup>، حسین بابازاده<sup>۲\*</sup>، پیام نجفی<sup>۳</sup> و حسین صدقی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران. h\_babazadeh@hotmail.com

۳- دانشیار دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان اصفهان.

۴- استاد، دانشکده علوم کشاورزی و صنایع غذایی، گروه مهندسی سیستم‌های کشاورزی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۳

بازنگری: ۱۳۹۶/۷/۱

دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۶

### چکیده

محدودیت کمی و کیفی منابع آب باعث شده است که در بسیاری از اراضی گیاهان با تنش آبی مواجه شوند. از این رو شناخت این تنش‌ها می‌تواند در مدیریت زراعی موثر باشد. تنش آبی تاثیر زیاد بر عملکرد، نقش مهمی در برنامه‌ریزی صحیح آبیاری، تعیین زمان و مقدار مناسب مصرف آب مورد نیاز گیاه دارد. شاخص تنش آبی گیاه (Crop Water Stress Index (CWSI)) یکی از پارامترهای برآورد تنش است. این تحقیق بمنظور برنامه‌ریزی آبیاری ذرت علوفه‌ای (SC-701) با استفاده از دمای سطح برگ در شرایط اقلیمی شمال اصفهان، در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳، با پنج تیمار آبیاری T5, T4, T3, T2, T1 به ترتیب ۳۷، ۶۳، ۷۵، ۸۷ و ۱۰۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک و در چهار تکرار انجام شد. نتایج نشان داد تخلیه مجاز رطوبتی خاک از ۳۷ به ۱۰۰ درصد، اختلاف دمای سطح برگ نسبت به دمای هوا حدود ۴ درجه سانتیگراد شد و شاخص CWSI حدود سه و نیم برابر افزایش پیدا کرد. شاخص CWSI در روز قبل از آبیاری برای تیمار T1 تا T5 از حدود ۰/۱۲ تا ۰/۴۶ محاسبه شد. نتایج نشان داد معادله خط مبنای پایین تنش برای گیاه ذرت، تیمار T3 (۷۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی) برابر با  $(T_c - T_a)_{l,l} = -1.4101VPD - 1.7105$  و معادله خط مبنای بالای تنش معادل  $(T_c - T_a)_{ul} = 2.3$  درجه سانتیگراد است و شاخص تنش آبی گیاه که مبنای برنامه‌ریزی آبیاری است، ۰/۲۴ محاسبه شد. بررسی نتایج عملکرد تیمارها نشان داد که برنامه‌ریزی آبیاری در این منطقه، باید براساس تیمار T3 با ۷۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک انجام شود.

کلید واژه‌ها: کم آبیاری، دمای سطح برگ، شاخص تنش آبی گیاه، کمبود آب خاک.

### مقدمه

بستگی به زمان و مدت زمان آن دارد. بنابراین، روش‌هایی مورد نیاز است تا نیاز آبی گیاه به‌درستی از نظر مکانی و زمانی طبقه‌بندی شده و مزایای اقتصادی و زیست‌محیطی را نیز در نظر داشته باشد (Herwitz et al., 2004; Taghvaeian et al., 2013).

روش‌های زمان‌بندی آبیاری به سه دسته، استفاده از روش بیلان آبی، استفاده از نمایه‌های خاک و استفاده از نمایه‌های گیاهی تقسیم می‌شوند (Alizadeh., 2010). در روش بیلان آبی، معمولاً موقعی آبیاری انجام می‌شود که مقدار قابل قبولی از آب قابل استفاده خاک (آب سهل‌الوصول) بوسیله گیاه مصرف شده باشد. تعیین مقدار آب سهل‌الوصول به عوامل مختلفی نظیر نوع گیاه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بستگی دارد. بنابراین سعی محققان بر آن بوده که بتوانند از روش‌هایی استفاده کنند که از کلیه پارامترهای موثر بر تبخیر و تعرق و جذب آب برای انتخاب شیوه مدیریتی مناسب‌تر

امروزه جهان با افزایش جمعیت و تقاضای مواد غذایی و همچنین کاهش منابع آب شیرین رو به رو است کم آبیاری (Deficit irrigation) و استفاده از پساب‌های شهری دو راه کار مدیریتی برای کاهش مصرف آب شیرین در کشاورزی است. کشاورزان شمال اصفهان به دلیل کاهش منابع آب آبیاری، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه و افزایش سطح زیر کشت از این راهکارها استفاده می‌کنند.

برنامه‌ریزی دقیق آبیاری به‌منظور جلوگیری از تنش آبی و عملکرد بهینه در گیاهان مؤثر است. یکی از مهم‌ترین تنش‌های گیاهی، تنش آب است که رایج‌ترین و مؤثرترین عامل محدود کننده عملکرد محصول است (Jackson et al., 1981; Scherrer et al., 2011; Zia et al., 2012). شدت تنش آب

در تحقیقات گذشته استفاده از شاخص تنش آبی گیاه CWSI در تیمارهای آبیاری و همچنین بررسی رطوبت نسبی و دمای سطح برگ در نزدیکی سطح برگ گیاه کمتر انجام شده است. با توجه به مطالب گفته شده، هدف از انجام این تحقیق محاسبه شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو و رسم خط مبنای پایینی و بالایی برای گیاه ذرت (سینگل کراس ۷۰۱ تابستانه) در منطقه شمال اصفهان و استفاده از آن برای تعیین زمان آبیاری می‌باشد. هدف از این مطالعه برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری ذرت (سینگل کراس ۷۰۱ تابستانه) با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در تیمارهای آبیاری، در منطقه شمال اصفهان است.

### مواد و روش‌ها

#### موقعیت طرح

آزمایش‌ها در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ در منطقه برخوار، شمال اصفهان انجام شد. این منطقه در طول جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۷ دقیقه و عرض ۵۱ درجه و ۴۵ دقیقه واقع گردیده و ارتفاع آن از سطح دریا ۱۹۵۰ متر است. آب و هوای این منطقه مانند اصفهان گرم و خشک است و مقدار رطوبت موجود در هوا بطور میانگین ۳۵ درصد و حداکثر تبخیر و تعرق ۷ میلی‌متر در روز است. شرایط آب و هوایی منطقه در طول فصل رشد ذرت در جدول (۱) بیان شده است.

#### طرح آزمایشی و مدیریت آب آبیاری

طرح آزمایش در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با پنج تیمار آبیاری (T1-T5) و با چهار تکرار انجام شد. تیمارها و ارتفاع آب آبیاری در طول ماه‌های تیر تا مهر در جدول (۲) ذکر شده است. تیمارهای T5 و T1 از حداقل و حداکثر آب مصرفی برخوردار هستند. تیمارها با توجه به زمان آبیاری و شدت تنش آبی که هر دو بر عملکرد محصول موثر هستند، انتخاب شدند. تیمارهای T1، T2، T3، T4 و T5 بترتیب شامل ۱۰۰، ۸۷، ۷۵، ۶۳ و ۳۷ درصد تخلیه مجاز رطوبتی بودند. به محض رسیدن رطوبت حجمی خاک به درصدهای تخلیه مجاز در هر تیمار، آبیاری انجام شد.

استفاده شود. به همین منظور بررسی پدیده تنش آبی گیاهان با شاخص‌های متعددی ارائه شده است که برای محاسبه این شاخص‌ها نیاز به اندازه‌گیری درجه حرارت سطح برگ و هوا می‌باشد.

از سال ۱۹۷۰، دمای پوشش سبز گیاهان بعنوان یک شاخص تنش آبی پذیرفته شده است، زیرا گیاهان در شرایط تنش، روزه‌های برگ خود را بمنظور حفظ آب می‌بندند در نتیجه باعث کاهش هدایت روزنه، کاهش تعرق و افزایش دمای برگ می‌شوند (Ballester et al., 2013; Grant et al., 2006; Idso et al., 1977; Jones, 1999; Leinonen and Jones, 2004; Rodriguez et al., 2005). یکی از معتبرترین شاخص‌ها، شاخص تنش آبی Idso است

Boroomband Nasab (2003) در زمینه برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از اندازه‌گیری دمای سطح برگ تحقیقات متعددی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. Candogan et al., 2003; Orta et al., 2013) اختلاف درجه حرارت هوا و سطح برگ را در برابر اختلاف فشار بخار برای تیمارهای مختلف آبیاری در گیاه سویا و هندوانه به دست آوردند و گیاه سورگوم در سیستم‌های مختلف آبیاری توسط O'Shaughnessy et al (2010) مورد بررسی قرار گرفت و شاخص تنش آبی گیاه به دست آمد.

Alderfasi و Nielsen (2001) استفاده از شاخص تنش آبی گیاه را روی گندم در ایالت کلرادو آمریکا مورد بررسی قرار داده و در نهایت نتیجه گرفتند که شاخص تنش آبی گیاه یک ابزار مفید برای ارزیابی وضعیت آب گندم زمستانه است. شاخص تنش آبی گیاهان برای تعیین زمان آبیاری و ارزیابی وضعیت آب در گیاهان نیز استفاده می‌شود. Mangus et al (2016) شاخص تنش آبی ذرت را در چهار مرحله از رشد گیاه بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سومین مرحله رشد ذرت یعنی در مرحله گل‌دهی، دمای سطح برگ بالاتر است و گیاه بیشترین انرژی خود را صرف رشد بلال کرده و تعرق از گیاه کمتر صورت می‌گیرد. نتایج آن‌ها نشان داد کاهش تعرق و جذب آب، باعث افزایش دمای سطح برگ می‌شود.

### جدول ۱- شرایط آب و هوایی در طول فصل رشد ذرت در سال ۱۳۹۲

Table 1- Climate conditions during the growing season of corn in 2013

Month (Year)	Rainfall (mm)	Maximum temperature (°C)	Minimum temperature (°C)	Maximum relative moisture (%)	Minimum relative moisture (%)
June 2013	0.0	40.0	11.8	34.0	3.0
July 2013	0.0	41.1	11.8	43.0	3.0
August 2013	0.0	36.5	8.8	41.0	3.0
September 2013	0.0	33.0	3.0	81.0	3.0
October 2013	0.0	27.0	2.9	87.0	3.0

جدول ۲- تاریخ و عمق آب آبیاری (میلی‌متر) برای تیمارهای مختلف آبیاری (T1-T5) در سال زراعی ۱۳۹۲  
 Table 2- Date and depth of irrigation water (mm) for different irrigation treatments (T1-T5) in 2013

	T1	T2	T3	T4	T5
28 June	105	105	105	105	105
5 July	60	60	60	60	60
26 July	120	120	120	120	120
3 August	115	115	115	115	115
11 August	130	130	130	130	130
20 August	-	-	-	-	70
23 August	-	-	70	70	-
25 August	-	70	-	-	70
28 August	70	-	-	70	-
4 September	-	-	70	-	70
7 September	-	70	-	70	-
20 September	-	-	-	-	70
27 September	70	-	70	70	-
4 October	-	70	-	-	70
9 October	-	-	70	70	70
Total	670	740	810	880	950

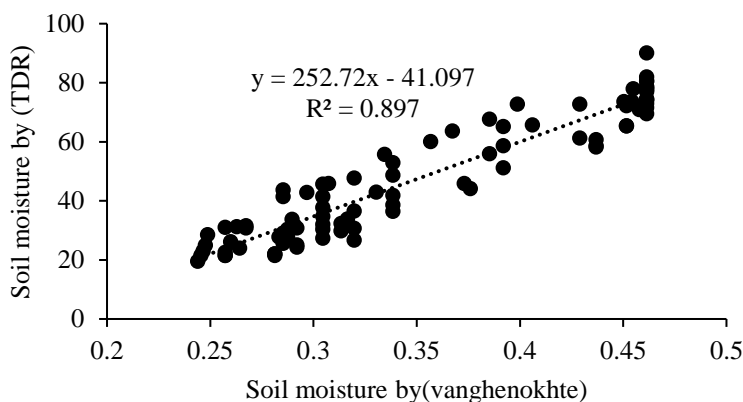


Fig. 1- Relationship between volumetric soil moisture and TDR for calibration

شکل ۱- رابطه بین رطوبت حجمی خاک و TDR جهت واسنجی

مترمربع و در هر بلوک شش ردیف ذرت با فاصله ۰/۷۵ متر بین ردیف‌ها کاشته شد. بلوک‌ها توسط یک سیستم آبیاری جویچه‌ای آبیاری شد. بلوک‌ها پس از برداشت گندم و قبل از کاشت در سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ قطعه‌بندی شد. یک سیستم لوله‌کشی در کل سطح مزرعه کشیده شد، به‌صورتی‌که هر قطعه بطور جداگانه و توسط یک شیر مجزا به قطر ۳۲ میلی‌متر آبیاری شد و لوله اصلی به یک کنتور وصل شده و سپس به لوله اصلی مزرعه متصل شد. آبیاری به‌صورت کنترل دستی بود.

درصدهای مختلف رطوبت خاک توسط (Time Domain Reflectometry) TDR اندازه‌گیری شد هنگامی که TDR در قسمت‌های مختلف زمین درصد رطوبت یکسان و برابر درصد تیمار مورد نظر را نشان می‌داد آبیاری صورت می‌گرفت. هم‌زمان سه تانسومتر در عمق ۴۰ سانتی‌متری در سه بلوک در جاهای مختلف زمین نصب شد و رطوبت خاک توسط آن‌ها خوانده شد. رابطه بین رطوبت‌های به‌دست آمده از تانسومتر و رطوبت توسط معادله ونگنوختن به‌دست آمد (شکل ۱). مساحت هر بلوک آزمایشی ۲۵

## جدول ۳- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش

Table 3- Physical and chemical properties of soil

Depth (cm)	%Clay	%Silt	%Sand	Text.	EC (Ds m-1)	N (%)	P (Mg kg-1 a.v.a)	K (Mg kg-1 a.v.a)	PH
0-30	36	46	29	CL	3.5	0.1	40	423	8.2
30-60	38	46	16	Si.CL	2.6	0.03	6.7	298	8.4

## عملیات زراعی ذرت

گرفته و رطوبت نسبی آن تعیین شد. کمبود فشار بخار (VPD) (Vapor pressure deficit) از معادله (۲) پس از محاسبه درجه حرارت هوا و رطوبت نسبی تعیین شد. با استفاده از این داده‌ها خط رگرسیون بین اختلاف دمای برگ و هوا و کمبود فشار بخار هوا تر رسم گردید. رطوبت خاک (SM) توسط دستگاه TDR 100 مدل FIELDSCOUT ساخت شرکت آمریکا، اندازه‌گیری شد و برای کالیبره کردن آن با پتانسیل آب در محیط کشت از تانسومتر که درجه‌بندی خلاسنج آن بین ۰ تا ۶۰۰- بر حسب میلی بار بود استفاده شد.

## شاخص تنش آبی گیاه

شاخص تنش آبی گیاه CWSI بر اساس رابطه خطی، در طول روز و تحت شرایط همگن (روز روشن یا ابری) بین اختلاف دمای سطح برگ و دمای هوا (TL-Ta) و کمبود فشار بخار VPD برای یک محصول به خوبی آبیاری شده و با یک سرعت تعرق پتانسیل می‌باشد (Idso et al., 1977) کمبود فشار بخار VPD با استفاده از معادله (۱)، پس از محاسبه درجه حرارت هوا و رطوبت نسبی تعیین شد. (Monteith and Unsworth, 2013). اختلاف دمای سطح برگ و هوا از کمبود فشار بخار اشباع VPD در تابش خورشیدی بیش از ۱۰۰ W/m2 اندازه‌گیری می‌شود. کمبود فشار بخار اشباع VPD معادله (۱) تعریف شده است.

$$VPD = \left( 1 - \left( \frac{RH}{100} \right) \right) \times \left( 0.6108 \times 10^{\left( \frac{7.5 \times T_a}{237 + T_a} \right)} \right) \quad (1)$$

Ta : دمای هوا (درجه سانتی‌گراد) ، RH: رطوبت نسبی (درصد) ، VPD: کمبود فشار بخار (کیلو پاسکال) کمبود فشار بخار اشباع VPD برای به‌دست آوردن خط مبنای بدون تنش آبی (Non-water stressed baseline (NWSB)) مورد استفاده قرار گرفت. خط مبنای پایینی (بدون تنش آبی NWSB) یک خصوصیت ویژه هر گیاه بوده و معرف شرایطی است که در آن گیاه از نظر تامین آب از ناحیه ریشه با هیچ محدودیتی روبرو نبوده و تبخیر و تعرق در محدوده حداکثر می‌باشد. ایدسو خط مبنای پایینی تنش را به صورت رابطه زیر معرفی کرد (Idso et al., 1982)

گیاه آزمایشی، ذرت رقم ۷۰۱ سینگل کراس انتخاب شد. دوره بلوغ ۱۲۵ روز، که در تاریخ ۶ تیر سال زراعی ۱۳۹۲-۱۳۹۳ کاشته شد و در ۷ آبان ماه برداشت شد. مساحت مزرعه مورد کشت ۵۰۰ مترمربع بود. فاصله بین ردیف‌ها ۰/۷۵ متر و فاصله بین بوته‌ها ۱۲ سانتی‌متر بود. برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قطعه مورد آزمایش در جدول (۳) ارائه شده است. خاک مزرعه از سطح زمین تا عمق (۰-۳۰ سانتی متری) رسی و pH برابر ۷/۳ و EC آن ۳ دسی‌زیمنس بر متر و از عمق (۳۰-۶۰ سانتی‌متری) سیلتی رسی و pH برابر ۸/۲ و EC ۳/۵ دسی‌زیمنس بر متر می‌باشد.

با توجه به آزمایش خاک، نیاز به ۸ تا ۱۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات تریپل (۴۶ درصد فسفر) بصورت دستی در هر کرت در زمان کاشت بود. ۵۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن از منبع نترات آمونیوم همراه با آب آبیاری به زمین داده شد. نترات آمونیوم به صورت مخلوط با آب آبیاری در اول شهریور و در ۳ شهریور همراه با آبیاری دوم (پی‌آب) به مزرعه داده شد. علف‌کش کروز ۴ لیتر در هکتار در ۲۹ تیر و علف‌کش لاسو به میزان ۲۰ لیتر در هکتار در ۲۶ مرداد استفاده شد.

## اندازه‌گیری‌های محیطی در طول فصل رشد

اندازه‌گیری‌ها از ابتدای رشد برگها در ماه‌های شهریور و مهر تا زمان برداشت گیاه انجام شد. پارامترهای محیطی شامل، درجه حرارت سطح برگ (TL) که به صورت روزانه، با فاصله ۳۰ سانتی‌متری از سطح برگ، توسط دماسنج مادون قرمز (مدل Testo 625 ساخت آلمان با ۰/۱ درجه سانتی‌گراد دقت) اندازه‌گیری شد. درجه حرارت برگ گیاه در روزهای قبل و بعد از آبیاری هر یک ساعت یک بار از ساعت ۸ صبح الی ۱۸ بعد از ظهر توسط دستگاه دماسنج مادون قرمز از چهار جهت بالا، پایین، چپ و راست برگ گیاه اندازه‌گیری و میانگین آن ثبت شد. درجه حرارت هوا (Ta) توسط دماسنج دیجیتال مدل (Testo 625 با ۰/۵ درجه سانتی‌گراد دقت) به صورت لحظه‌ای اندازه‌گیری شد. نهایتاً اختلاف بین درجه حرارت هوا و سطح برگ (Ta-TL) نیز بدست آمد. رطوبت‌سنج دیجیتال برای تعیین رطوبت نسبی (RH) استفاده شد. رطوبت‌سنج، مدل (Testo 625 با ۲/۵ درصد دقت اندازه‌گیری) بود. رطوبت‌سنج در فاصله ۱ تا ۲ سانتی‌متری از سطح برگی که دمای آن اندازه‌گیری شده بود قرار

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 ساعات‌های 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. خطوط مینا براساس شرایط تنش و بدون تنش برای تیمارهای T5 تا T1 برای محاسبه‌ی CWSI استفاده گردید. مقدار  $R^2$  در قطعات شکل (۲) و جدول (۴) وجود همبستگی بین اختلاف دمای هوا و سطح برگ‌ها در برابر اختلاف فشار بخار را نشان می‌دهد. کمترین مقدار  $R^2$  (۰/۶۵۵ و ۰/۶۵۲) در دو تیمار T1 و T2 است، در این تیمارها با کاهش جذب آب و تعرق، دمای سطح برگ بالاتر می‌رود و اختلاف دمای سطح برگ و هوا مثبت می‌شود. بیش‌ترین مقدار  $R^2$  (۰/۷۴ و ۰/۷۰) مربوط به دو تیمار T4 و T5 بود که با افزایش جذب آب و تعرق، دمای سطح برگ کاهش یافته و اختلاف دمای سطح برگ و هوا منفی می‌شود و در نتیجه عملکرد محصول، افزایش می‌یابد.

نتایج Idso et al (1977) نشان داد که زمانی که گیاه کمبود آب نداشته باشد، اختلاف پوشش سبز گیاه ( $T_c$ ) و دمای هوا ( $T_a$ )، منفی می‌شود و زمانی که گیاه تحت تنش آبی شدید باشد، اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا مقداری مثبت می‌شود. داده‌های جدول (۴) و شکل (۲) نشان می‌دهند که با افزایش تنش آبیاری، خطوط مینای بالا و پایین نیز جابجا می‌شوند. با افزایش تنش آبیاری از T5 به T1، شیب رابطه خطی ( $T_l - T_a$ ) و VPD در خطوط مینای پایینی از  $+0.2046$  به  $-1.3529$  کاهش یافته است. از سوی دیگر با افزایش تنش آبی از T5 به T1 خط مینای بالایی تنش نیز از  $1/3$  به  $5$  صعود کرده است.

Verdiyehzad et al (2007) معادله خط مینای پایینی

برای گیاه ذرت در فصل تابستان با شرایط آب و هوایی دانشکده کشاورزی کرج را به صورت  $(VPD) = -0.1642(T_c - T_a)$  (Nielsen و Alderfasi (2001) معادله خط مینای پایینی گندم را در دانشگاه ایالتی کلرادو (کولینز) به صورت  $VPD = 0.41 - 1.5(T_c - T_a)$  ارائه دادند. همان‌گونه که دیده شد معادله‌های خط حداقل تنش محصولات مختلف از نظر ظاهری شبیه هم هستند اما ضریب زاویه و عرض از مبدا آنها یکسان نیست. حتی در شرایط متفاوت آبیاری و تیمارهای مختلف آبیاری و برای یک گیاه خاص مثل ذرت نیز نمی‌توان معادله واحدی پیشنهاد نمود. مقایسه خط مینای پایین ذرت در تیمارهای مختلف گویای این بحث می‌باشد. Ghorbani, et al. (2014) حد بالای تنش را برای

$$(T_l - T_a)_{ul} = a - b \times VPD \quad (2)$$

در این رابطه  $(T_l - T_a)_{ul}$ : اختلاف درجه حرارت سطح برگ و هوا در شرایط خط مینای پایینی (درجه سانتی‌گراد)،  $a$ : عرض از مبدا و  $b$ : شیب رابطه خطی. ضرایب تجربی خط مینای بدون تنش آبی با استفاده از دمای سطح برگ در پنج تیمار آبیاری اندازه‌گیری شد جدول (۲). در طول یک فصل رشد کامل، تیمار T1 (۱۰۰ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک)، تیمار T2 (۸۷ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک)، تیمار T3 (۷۵ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک)، تیمار T4 (۶۳ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک) و تیمار T5 (۳۷ رطوبت حجمی خاک) بودند. بالاترین خط مینای تنش آبی (تنش کامل) مستقل از کمبود فشار بخار و از معادله (۳) محاسبه می‌شود (Idso et al., 1982).

$$(T_l - T_a)_{ul} = h \quad (3)$$

$h$ : مقدار ثابت برحسب درجه سانتی‌گراد،  $(T_l - T_a)_{ul}$ : اختلاف دمای سطح برگ و هوا در شرایط خط مینای بالایی (درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.

مطالعه‌های گذشته توصیه کرده است که برای تعیین تجربی خط مینای بدون تنش آبی و خط مینای تنش آبی، به طور مستقیم از تابش خالص، مقاومت روزنه و شرایط میکرو اقلیم محصول استفاده شود و این یک روش قوی برای تعیین CWSI می‌باشد (Ballester et al., 2013). شاخص تنش آبی گیاه CWSI در دمای واقعی با استفاده از معادله (۴) محاسبه می‌شود (Idso et al., 1981; Jackson et al., 1981).

$$CWSI_e = \frac{(T_l - T_a)_m - (T_l - T_a)_{ul}}{(T_l - T_a)_{ul} - (T_l - T_a)_{ll}} \quad (4)$$

$m$  ( $T_l - T_a$ ): اختلاف دمای سطح برگ و هوا برای روزی است که هدف تعیین CWSI برای آن روز است.

## نتایج و بحث

### برآورد اختلاف دمای هوا و سطح برگ

با توجه به معادله‌های ارائه شده در بخش قبل و داده‌های مزرعه در روزهای بعد از آبیاری، خطوط مینای بدون تنش آبی، در شرایط واقعی مزرعه محاسبه شد شکل (۲). منحنی رگرسیون برای داده‌ها، در هر یک از تیمارها برازش داده شد و معادلات خط مینای پایینی و بالایی در جدول (۴) ارائه گردید. بیش‌ترین تعداد داده‌ها در فاصله ۱ تا ۶ کیلو پاسکال کمبود فشار بخار هوا می‌باشد. روزهای



Verdiynezhad et al حد بالای تنش را در شرایط آب و هوایی دانشکده کشاورزی کرج برای ذرت علوفه‌ای ۳/۲ درجه سانتی‌گراد محاسبه کردند. Judy (2011) نیز حد بالای تنش برای گیاه آفتابگردان در آب و هوای خوزستان را در ماه فروردین و اردیبهشت به ترتیب ۴/۶ و ۴/۴۲ درجه سانتی‌گراد به‌دست آورد.

ذرت در شهریور و مهرماه و با آبیاری سطحی ۵/۰۵ و ۴/۷۰۳ به‌دست آوردند. Mohammadi (2013) حد بالای تنش برای ذرت در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد را به ترتیب ۴/۳۴، ۶/۱۰، ۴/۶۴ درجه سانتی‌گراد به‌دست آورد. همچنین (2007)

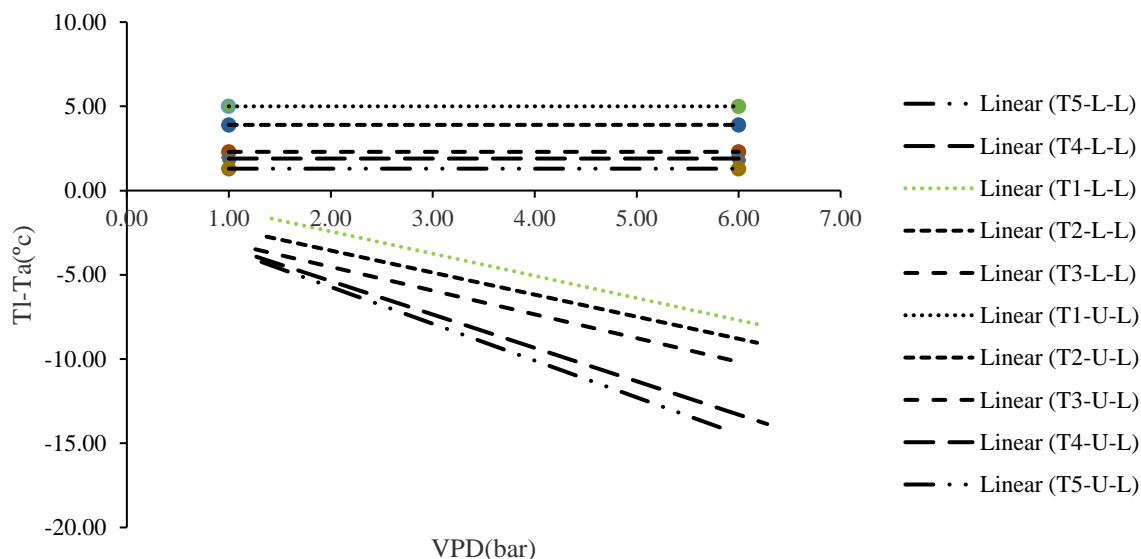


Fig. 2- Position of the upper and lower base lines under each treatment. (T: treatment number, U-L: upper base line, L-L: bottom line)

شکل ۲-موقعیت خطوط مبنای بالا و پایین در هر یک از تیمارها  
(T:شماره تیمار، U-L: خط مبنای بالا، L-L: خط مبنای پایین)

جدول ۴- پیش‌بینی اختلاف دمای سطح برگ و هوا در مقابل فشار بخار اشباع

Table 4. Estimation of leaf and air temperature difference versus Vapor Pressure Deficit (VPD)

Treatment	The base line equation above	Bottom line equation	R <sup>2</sup>
T1	$(T_c - T_a)_{ul} = 5$	$(T_c - T_a)_{l,l} = -1.3176VPD + 0.2064$	0.66
T2	$(T_c - T_a)_{ul} = 3.9$	$(T_c - T_a)_{l,l} = -1.3095VPD - 0.9412$	0.65
T3	$(T_c - T_a)_{ul} = 2.3$	$(T_c - T_a)_{l,l} = -1.4101VPD - 1.7105$	0.67
T4	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.9$	$(T_c - T_a)_{l,l} = -1.9831VPD - 1.4081$	0.70
T5	$(T_c - T_a)_{ul} = 1.3$	$(T_c - T_a)_{l,l} = -2.1849VPD - 1.35292$	0.74

همچنین شاخص CWSI برای روزهای قبل از آبیاری در هر یک از تیمارها و تکرارها در جدول (۷) ارائه شده است. با توجه به نتایج تجزیه واریانس در جدول (۸)، اثر تیمارهای آزمایشی روی CWSI به تفصیل در ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج جدول حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تیمارهای آبیاری اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی شاخص CWSI دارد. مقایسه میانگین‌های CWSI با استفاده از آزمون دانکن جدول (۹) برای تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود دارد. با کاهش تخلیه مجاز رطوبتی از ۳۷ درصد به ۱۰۰ درصد، مقدار شاخص CWSI از ۰/۰۷ به ۰/۴۴ افزایش پیدا کرد. برای برنامه‌ریزی آبیاری میزان تنش واقعی قبل از آبیاری، از تغییرات دمای سطح برگ (در هر یک از تیمارهای تحت تنش) استفاده گردید. با توجه به نتایج تجزیه واریانس جدول (۸)، اثر تیمارهای آزمایشی روی CWSI در روزهای قبل از آبیاری به تفصیل در ذیل مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از تجزیه واریانس نشان می‌دهد که تیمارهای آبیاری اثر معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد روی شاخص CWSI دارد. مقایسه میانگین‌های CWSI با استفاده از آزمون دانکن جدول (۹) برای تیمارهای مختلف آبیاری نشان داد که بین تیمارهای مختلف تفاوت معنی‌داری وجود داشت. با کاهش تخلیه مجاز رطوبتی از ۳۷ درصد به ۱۰۰ درصد، مقدار شاخص CWSI، از ۰/۱۲ تا ۰/۴۶ افزایش پیدا کرد.

بر اساس تغییرات شیب خطوط مبنای پایین و وضعیت آن‌ها نسبت به هم، می‌توان میزان کاهش (TI-Ta)، به ازای افزایش یک واحد VPD را در هر یک از تیمارهای آبیاری و روند تغییرات اختلاف دمای سطح برگ و هوا، در یک میزان کمبود فشار بخار مشخص کرد. به‌عنوان نمونه برای کمبود فشار بخار ۳ کیلو پاسکال، روند تغییرات اختلاف دمای سطح برگ و هوا، در جدول (۵) ارائه شده است. اعداد منفی نشان دهنده‌ی این است که دمای هوا، بیشتر از دمای سطح برگ است همچنین بازای کاهش تخلیه مجاز رطوبتی از ۳۷ درصد به ۱۰۰ درصد، اختلاف دمای سطح برگ و هوا، حدود ۴ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا می‌کند.

### تعیین شاخص تجربی تنش آبی گیاه

شاخص تنش آبی گیاه با توجه به معادله‌های خط مبنای پایینی و بالایی در معادله (۴) محاسبه شد و مقدار شاخص تنش آبی ذرت CWSI در روز بعد از آبیاری برای هر یک از تیمارها محاسبه گردید. میانگین اختلاف دمای سطح برگ و هوا و همچنین شاخص CWSI برای هر یک از تیمارها و تکرارها در جدول (۶) ارائه شده است. داده‌های جدول (۶) نشان دهنده این است که با کاهش رطوبت خاک، در تیمارهای آبیاری دمای سطح برگ و در نتیجه اختلاف دمای سطح برگ و هوا رو به افزایش است. به‌دلیل این‌که در هر نوبت آبیاری براساس تیمار مورد نظر آب داده شده است، لذا تنش ناشی از کمبود آب آبیاری باعث افزایش دمای سطح برگ و شاخص CWSI شده است. میانگین اختلاف دمای سطح برگ و هوا و

جدول ۵- تغییرات اختلاف دمای سطح برگ و هوا در برابر کمبود فشار بخار ۳ کیلو پاسکال در تیمارهای آبیاری

Table 5- Changes in temperature difference between leaf and air relative to 3 kPa Vapor Pressure Deficit (VPD) in irrigation treatments

VPD (K Pa)	Treatment				
	T1	T2	T3	T4	T5
3	-3.7	-4.9	-5.9	-7.3	-8.0

جدول ۶- اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه CWSI در روز بعد از آبیاری در هر یک از تیمارها

Table 6- Information needed to calculate CWSI on the day after irrigation in each treatment.

T1		T2		T3		T4		T5		Repeat
CWSI	TL-TA	CWSI	TL-TA	CWSI	TL-TA	CWSI	TL-TA	CWSI	TL-TA	
0.39	-2.6	0.16	-3.5	0.13	-5.7	0.07	-10.4	0.06	-11.7	First repeat
0.45	-2.4	0.19	-3.2	0.14	-5.6	0.09	-10.2	0.08	-11.5	Second repeat
0.49	-2.2	0.21	-3	0.15	-5.5	0.10	-10	0.08	-11.4	Third repeat
0.43	-2.5	0.18	-3.3	0.14	-5.6	0.07	-10.1	0.07	-11.4	Fourth repeat
0.44	-2.4	0.19	-3.25	0.14	-5.6	0.09	10.2	0.07	-11.55	Average

جدول ۷- اطلاعات مورد نیاز برای محاسبه CWSI در روز قبل از آبیاری در هر یک از تیمارها

Table 7- Information needed to calculate CWSI on the day before irrigation in each treatment

T1		T2		T3		T4		T5		Repeat
CWSI	TL-TA	CWSI	TL-TA	CWSI	TL-TA	CWSI	TL-TA	CWSI	TL-TA	
0.43	-0.2	0.34	-1	0.24	-3.5	0.23	-4.5	0.11	-6.3	First repeat
0.45	-0.0	0.29	-1.4	0.26	-3.3	0.20	-4.4	0.14	-6.0	Second repeat
0.52	1.0	0.27	-0.8	0.21	-3.7	0.29	-4.1	0.12	-6.2	Third repeat
0.47	0.16	0.30	-1.1	0.25	-3.4	0.22	-4.2	0.13	-6.1	Fourth repeat
0.46	0.26	0.30	-1.06	0.24	-3.5	0.21	-4.33	0.12	-6.16	Average

جدول ۸- تجزیه واریانس شاخص CWSI در آزمایش

Table 8- Analysis of the variance of the CWSI in the experiment

Sources of changes	d.f.	Before irrigation	After irrigation
		Average of squares	
		CWSI	CWSI
Soil moisture	4	0.049**	0.07**
Repeat	3	0.00 ns	0.003**
Error	9	0.001	0.00

\*\* And \* are significantly different at 1 and 5% levels, respectively.

(ns): no significant differences at the 5% significance level.

جدول ۹- مقایسه میانگین‌های CWSI قبل و بعد از آبیاری با استفاده از آزمون دانکن

Table 9- Comparison of CWSI means before and after irrigation using Duncan test

Treatment	Before irrigation	After irrigation
	CWSI	
T1	0.47d	0.45 d
T2	0.30c	0.19 c
T3	0.24b	0.14b
T4	0.21b	0.09a
T5	0.12a	0.08a

Means with the same letters within a season were not significantly different at the 5% significance level.

۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری بود (جدول ۱۰). گیاه ذرت در مرحله رویشی و رسیدگی نسبت به کمبود آب نسبتاً متحمل به نظر می‌رسد، اما بیشترین تلفات در اثر تنش آبی در دوره گل‌دهی اتفاق می‌افتد. ارتفاع گیاه، در انتهای مرحله رشد رویشی گیاه اندازه‌گیری شد. بیشترین ارتفاع برابر ۱۷۸ سانتی‌متر، متعلق به تیمارهای T5 کمترین آن ۱۶۵ متعلق به تیمارهای T1 بود (جدول ۱۱). نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد، اثر تیمارهای آبیاری در سال ۱۳۹۲ در سطح احتمال ۵ درصد دارای اختلاف معنی‌داری نبود (جدول ۱۰).

#### برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه

نتایج تجزیه واریانس عملکرد بیولوژیکی تیمارهای آبیاری در جدول (۱۰) ارائه شده است. نتایج نشان داد اختلاف معنی‌داری بین عملکرد تیمارهای T3 تا T5 وجود ندارد. نتایج مقایسه میانگین‌های عملکرد بیولوژی در تیمارهای آبیاری برای گیاه ذرت در جدول (۱۱) ارائه شده است. در این تحقیق بالاترین عملکرد دانه برابر ۹/۶ متعلق به تیمارهای T5 و کمترین عملکرد دانه برابر ۷/۱ متعلق به تیمارهای T1- بود. جدول (۱۱) نتایج حاصل از تجزیه آماری، برای صفت عملکرد دانه بین تیمارها و سال‌های مختلف در سطح احتمال

۰/۱۲ و ماه خرداد ۰/۳۳ گزارش کردند. Verdinezhad (2007) et al نیز مقدار شاخص تنش آبی را برای سه مرحله رشد ظهور کاکل، کامل شدن تاج و خمیری شدن ذرت تابستانه در دانشکده کشاورزی کرج به ترتیب ۰/۶۳، ۰/۳۳ و ۰/۴۲ بیان کردند. برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس معادله Idso et al (1981) به گونه‌ای صورت می‌گیرد که حداکثر تنش وارده از ۰/۲۴ تجاوز نکند. برای تشخیص زمان آبیاری، دمای سطح برگ در ساعت‌های ۱۲ تا ۱۵ اندازه‌گیری می‌شود و سپس براساس روابط ۱ تا ۴، مقدار شاخص CWSI محاسبه می‌گردد. اگر مقدار محاسبه شده، بیشتر از ۰/۲۴ باشد، آبیاری باید صورت گیرد.

مقایسه عملکرد تیمارها نشان داد بهترین زمان آبیاری را باید براساس تیمار T3 در نظر گرفت که علاوه بر حفظ عملکرد مطلوب از صرفه‌جویی آب در آبیاری برخوردار باشد. همچنین شاخص تنش آبی گیاه در روزهای قبل از آبیاری در تیمارهای T1, T2, T3, T4 و T5 به ترتیب ۰/۱۲، ۰/۲۱، ۰/۲۴، ۰/۳۰ و ۰/۴۶ به دست آمد. در نتیجه بهترین زمان آبیاری زمانی است که شاخص CWSI کمتر از ۰/۲۴ باشد.

Ghorbani et al (2014) مقدار تنش آبی ذرت را برای آبیاری بارانی در شهریور ماه ۰/۱۴ و در مهرماه ۰/۱۸ بیان کردند. Mohammadi (2013) مقدار شاخص تنش آبی را برای تیمار ۱۰۰ درصد آبیاری ذرت در ماه فروردین ۰/۲۹، ماه اردیبهشت

**جدول ۱۰- تجزیه واریانس عملکرد و اجزای عملکرد ذرت علوفه‌ای (ANOVA)**  
**Table 10- Analysis of variance of yield and grain yield of maize (ANOVA)**

Year	Source of variation (SOV)	Mean squares				
		d.f.	Wet yield	Dry yield	Plant height	Grain yields
	Block	3	161.82	16.68	31.95	1.18
	Treatment	4	315.00ns	23.05**	97.18ns	4.21*
	Error	12	50.15	6.13	54.74	1.4
	cv (coeff var)		8.00	9.58	4.27	13.93

\*\* And \* are significantly different at 1 and 5% levels, respectively.  
(ns): no significant differences at the 5% significance level.

**جدول ۱۱- مقایسه میانگین تیمارها در آزمون دانکن**  
**Table 11- Average different treatments in Duncan test**

Year	Treatment	Wet yield (ton ha-1)	Dry yield (ton ha-1)	Plant height (cm)	Grain yields (ton ha-1)
	T1	77.8 c	22.0 c	165 ab	7.1 b
	T2	80.3 bc	25.2 ab	176 ab	7.3 b
	T3	91.0ab	26.8 a	171 ab	9.2 a
	T4	97.2 a	28.0 a	171 ab	9.3 a
	T5	95.8 a	27.4 a	178 a	9.6 a
	Avg	88.4	25.9	172	8.5

Means with the same letters within a season were not significantly different at the 5% significance level.

تغییر رطوبت خاک از ۲۶ به ۳۶ درصد میزان شاخص CWSI حدود ۳/۵ برابر شد. بنابراین می‌توان از شاخص CWSI برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کرد. مقایسه عملکرد تیمارها نشان داد بهترین زمان آبیاری براساس تیمار T3 و زمانی که شاخص CWSI کمتر از ۰/۲۴ است، علاوه بر حفظ عملکرد مطلوب از صرفه‌جویی آب در آبیاری برخوردار است. پیشنهاد می‌شود با توجه به کارایی این شاخص در تعیین زمان آبیاری، خط مبنای بالایی و پایینی و شاخص تنش آبی گیاهان در مناطق مختلف و در فصل‌های مختلف کشت محاسبه شود.

### نتیجه‌گیری

کمبود فشار بخار هوا در طول فصل رشد از ۱ تا ۶/۲ اتمسفر متغیر است. معادله خطوط مبنای پایین در تیمارهای آبیاری نشان داد با افزایش VPD، اختلاف درجه حرارت سطح برگ و هوا بیشتر شد. نتایج این تحقیق نشان داد کاهش آب آبیاری باعث افزایش دمای سطح برگ شد، به‌ازای افزایش رطوبت از ۲۶ درصد به ۳۶ درصد، اختلاف دمای سطح برگ نسبت به هوا نزدیک به ۴ درجه، افزایش پیدا کرد. در این تحقیق میزان شاخص تنش آبی CWSI در روز قبل از آبیاری، در تیمارهای T1, T2, T3, T4 و T5 به‌ترتیب ۰/۱۲، ۰/۲۱، ۰/۲۴ و ۰/۳۰ و ۰/۴۶ به‌دست آمد. همچنین نتایج نشان داد، با

### References

- 1- Alderfasi, A. A. and Nielsen, D. C., 2001. Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. *Agricultural Water Management*, 47, pp.69-75.
- 2- Alizadeh, A., 2010. *Design of Surface Irrigation Systems*. Astan Quds Razavi Publishing House. Fourth Edition, pp. 248-265. (In Persian).
- 3- Ballester, C., Jimenez-Bello, M.A., Castel, J.R. and Intrigliolo, D.S., 2013. Usefulness of thermography for plant water stress detection in citrus and persimmon trees. *Agricultural Water Management*. pp.120-129.
- 4- Boroomand Nasab, S., Taheri Ghanad, S. and Moayri, M., 2003. Use of green plant cover temperature to plan irrigation of spring corn in Khuzestan conditions. *Scientific Journal of Agriculture, Ahvaz Agricultural College*, 27, pp.56-47. (In Persian).
- 5- Candogan, B. K., Shncik, M., Buyukcangaz, H. and C, Demirtas., 2013. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit irrigated soybean [Glycine max (L.) Merr.] In sub-humid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 118, pp.113-121.
- 6- Ghorbani, M., Broumand nassab, S., Mohammadi, A.S. and Minae, S., 2014. Summer Maize Irrigation Scheduling Under Surface and Sprinkler Irrigation Using CWSI in Ahvaz Climate Condition. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 38(4), pp. 63-73. (In Persian).
- 7- Grant, O.M., Chaves, M.M. and Jones, H.G., 2006. Optimizing thermal imaging as a technique for detecting stomatal closure induced by drought stress under greenhouse conditions. *Physio logia Plant arum*, 127, pp.507-518.
- 8- Herwitz, S. R., Johnson, L. F., Dunagan, S. E., Higgins, R. G., Sullivan, D. V., Zheng, J., Lobitz, B. M., Leung, J. G., Gallmeyer, B. A., Aoyagi, M., Slye, R. E. and Brass, J. A., 2017. Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support. *Computers and Electronics in Agriculture*, 44, pp. 49-61.
- 9- Idso, S.B., Jackson, R.D. and Reginato, R.J., 1977. Remote sensing of crop yields. *Science* 196, pp.19-25.
- 10- Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter, P. J., Reginato, R. J. and Hatfield, J. L., 1981. Normalizing the stress degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24, pp.45-55.
- 11- Idso, S. B., Reginato, R. J. and Radin, J.W., 1982. Leaf diffusion resistance and photosynthesis in cotton related to a foliage temperature based plant water stress index. *Agricultural Meteorology*, 27, pp.27-34.
- 12- Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., and Pinter Jr, P.J., 1981. Canopy temperature as a drought stress indicator. *Water Resources Research*, 17, pp.1133-1138.

- 13-Jones, H.G., 1999. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. *Plant, Cell Environ*, 22, pp.1043–1055.
- 14-Judy, F., 2011. Use of infrared thermometer in plantation of irrigation of sunflower plant in Khuzestan. *Master's thesis, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.* (In Persian).
- 15-Leinonen, I. and Jones, H.G., 2004. Combining thermal and visible imagery for estimating canopy temperature and identifying plant stress. *Journal of Experimental Botany*, 55 (401), pp.1423–1431.
- 16-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”. *Computer and Electro in Agric. 121*, pp. 149–159.
- 17-Mohammadi, H. 2013. Irrigation plan for spring corn under drip irrigation using infrared thermometer under climatic conditions of Ahwaz. *Master's thesis, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.* (In Persian).
- 18-Monteith, J.L. and Unsworth, M.H., 2013. Principles of Environmental Physics: *Plants, Animals, and the Atmosphere, fourth ed. Elsevier Ltd, Oxford, UK.*
- 19-Orta, A. H., Erdem, Y. and Erdem, T., 2003. Crop water stress index for Watermelon. *Scientia Horticulture*, 98, pp.121-130.
- 20-O'Shaughnessy, S. A., Evett, S. R., Colaizzi, P. D. and Howell, T. A., 2010. Automatic irrigation scheduling of grain sorghum using a CWSI and time threshold. *Decennial Irrigation Association Conference, December, Michigan.*
- 21-Rodriguez, D., Sadras, V.O., Christensen, L.K. and Belford, R., 2005. Spatial assessment of the physiological status of wheat crops as affected by water and nitrogen supply using infrared thermal imagery. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56, pp.983–993.
- 22-Scherrer, D., Bader, M. and Karl-Friedrich Korner, C., 2011. Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151, pp.1632–1640.
- 23-Taghvaeian, S., Chavez, J., Altenhofen, J., Trout, T.J., and Dejonge, K.C., 2013. “Remote sensing for evaluating crop water stress at field scale using infrared thermography: potential and limitations”. *Hydrology Days*, pp.73–83.
- 24-Verdiynezhad, S., Sohrabi, T. and Layyat A., 2007. Programming of corn irrigation in different growth stages using the difference in temperature of green plant cover. *The 9th National Irrigation Seminar and Reduction of Evapotranspiration, February.* (In Persian).
- 25-Zia, S., Romano, G., Spreer, W., Sanchez, C., Cairns, J., Araus, J. L. and Müller, J., 2012. Infrared thermal imaging as a rapid tool for identifying water stress tolerant maize genotypes of different phenology. *Journal of Agronomy and Crop Science* 199(2), pp. 75–84.