



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

خدیدجه فتاحی^۱، حسین بابازاده^{۲*}، پیام نجفی^۳ و حسین صدقی^۴

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- استاد دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه آزاد 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 ۰/۶۶ 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 بیان آبی، استفاده از نمایه‌های خاک و استفاده از نمایه‌های گیاهی تقسیم می‌شوند (Alizadeh., 2010). در روش بیان 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 تخمیر 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 روزه، 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 مرحله‌ی 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

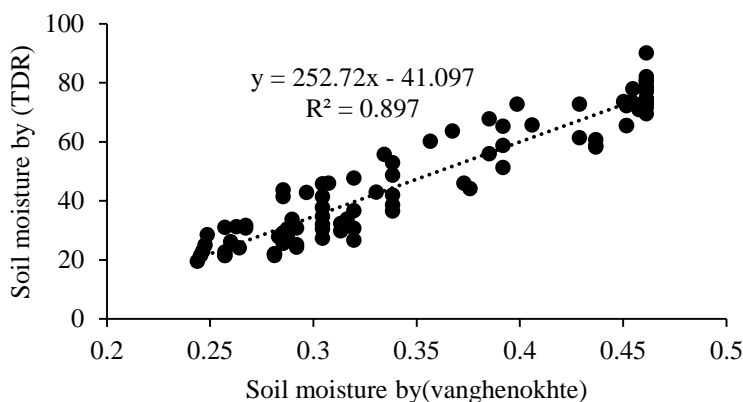


Fig. 1- Relationship between volumetric soil moisture and TDR for calibration

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، به‌صورتی که 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

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 ردیف ها ۰/۷۵ متر و فاصله بین بوته ها ۱۲ سانتی متر 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 دسی زیمنس بر متر و از عمق (۳۰-۶۰ سانتی متری) سیلتی رسی و pH برابر ۸/۲ و EC ۳/۵ دسی زیمنس بر متر می باشد.

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 (پی آب) به مزرعه داده شد. علف کش کروز ۴ لیتر در هکتار در ۲۹ تیر و علف کش لاسو به میزان ۲۰ لیتر در هکتار در ۲۶ مرداد استفاده شد.

اندازه گیری های محیطی در طول فصل رشد

اندازه گیری ها از ابتدای رشد برگها در ماه های شهریور و مهر تا زمان برداشت گیاه انجام شد. پارامترهای محیطی شامل، درجه حرارت سطح برگ (TL) که به صورت روزانه، با فاصله ۳۰ سانتی متری از سطح برگ، توسط دماسنج مادون قرمز (مدل Testo 625 ساخت آلمان با ۰/۱ درجه سانتی گراد دقت) اندازه گیری 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 اندازه گیری و میانگین آن ثبت شد. درجه حرارت هوا (Ta) توسط دماسنج دیجیتال مدل (Testo 625 با ۰/۵ درجه سانتیگراد دقت) به صورت لحظه ای اندازه گیری شد. نهایتا اختلاف بین درجه حرارت هوا و سطح برگ (Ta-TL) نیز بدست آمد. رطوبت سنج دیجیتال برای تعیین رطوبت نسبی (RH) استفاده شد. رطوبت سنج، مدل (Testo 625 با ۲/۵ درصد دقت اندازه گیری) بود. رطوبت سنج در فاصله ۱ تا ۲ سانتی متری از سطح برگی که دمای آن اندازه گیری شده بود قرار

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 داده ها 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، اندازه گیری شد و برای کالیبره کردن آن با پتانسیل آب در محیط کشت از تانسومتر که درجه بندی 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 می باشد (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 اندازه گیری می شود. کمبود فشار بخار اشباع VPD معادله (۱) تعریف شده است.

$$VPD = \left(1 - \left(\frac{RH}{100} \right) \right) \times \left(0.6108 \times 10^{\left(\frac{7.5 \times T_a}{23.7 + T_a} \right)} \right) \quad (1)$$

Ta : دمای هوا (درجه سانتی گراد) ، RH: رطوبت نسبی (درصد) ، VPD: کمبود فشار بخار (کیلو پاسکال) کمبود فشار بخار اشباع VPD برای به دست 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 می باشد. ایدسو خط مبنای پایینی تنش را به صورت رابطه زیر معرفی کرد (Idso et al., 1982)

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 ۵ صعود کرده است.

Verdiynezhad 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

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

در این رابطه $(T_l - T_a)_{ll}$: 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).

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

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 شهرریور 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)

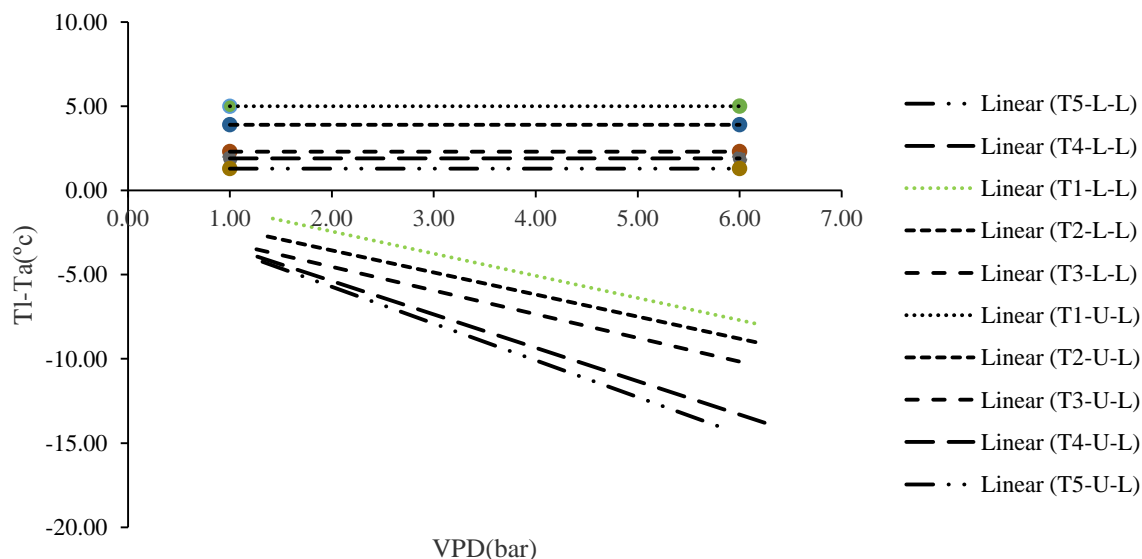


Fig. 2- Position of the upper and lower base lines under each treatment. (T: treatment number, U-L: upper base line, L-L: bottom line)

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 ²
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 (1981) Idso et al 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
2013	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)
2013	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، 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.