

Investigating the Ability of Crop Water Stress Index for Irrigation Scheduling and Estimating Corn Forage Yield

MEHRI SAEIDINIA^{1*}, ALI HEIDAR NASROLAHI², MAJID SHARIFI POOR³

1. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran

2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran

3. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran

(Received: Oct. 29, 2018- Revised: Dec. 6, 2018- Accepted: Dec. 17, 2018)

ABSTRACT

Irrigation scheduling is very important under water stress condition. To investigate the crop water stress phenomena, several indices have been presented, of which one is CWSI. In order to investigate the ability of this index in irrigation scheduling of Maize (SC704), a research in a randomized blocks design with four experimental treatments was conducted in Khoram Abad region in 2011. Experimental treatments including IR1: 100% water requirement, IR2: 80% water requirement (by Regulated deficit irrigation), IR3: 60% water requirement (by Regulated deficit irrigation) and IR4: 50% water requirement (by Partial root zone drying management). The results showed that the amount of CWSI was significantly affected by water stress. The CWSI index for IR1, IR2, IR3, and IR4 treatments were 0.17, 0.21, 0.39, 0.29 and the amount of yield were 21560, 19500, 12560 and 14860 Kg/ha, respectively. In this study, the best treatment was IR1 (with the minimum CWSI and the maximum Yield) and the worst treatment was IR3 (with the maximum CWSI and the Minimum Yield). Based on CWSI index, the value of water stress in IR₄ treatment was less than the water stress value of IR₃ treatment (The CWSI index dropped by 11.4 percent and the amount of yield increased by 18.3 percent). In this research, the relationship between the corn forage yield and CWSI index was obtained with high correlation. Regarding the variation of CWSI under different treatments, it can be stated that the CWSI index is able to evaluate the water stress and estimate the corn forage yield.

Keywords: CWSI, Forage Corn, Partial root zone drying (PRD), Regulated deficit irrigation, Water stress

بررسی توانایی شاخص تنش آبی گیاه در برنامه‌ریزی آبیاری و برآورد میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای

مهری سعیدی نیا^{۱*}، علی حیدر نصراللهی^۲، مجید شریفی پور^۳

۱. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
 ۲. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
 ۳. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۷ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۹/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۹/۲۶)

چکیده

برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط وجود تنش آبی، بسیار حائز اهمیت می‌باشد. برای بررسی پدیده تنش آبی گیاهان، شاخص‌های متعددی ارائه شده است که یکی از آن‌ها شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) می‌باشد. به منظور بررسی توانایی این شاخص در برنامه‌ریزی آبیاری ذرت علوفه‌ای (رقم SC704) در سال زراعی ۱۳۹۶، تحقیقی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی شامل چهار تیمار IR₁: ۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی، IR₂: ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی با مدیریت کم‌آبیاری تنظیم شونده، IR₃: ۶۰ درصد تأمین نیاز آبی با مدیریت کم‌آبیاری تنظیم شونده IR₄: ۵۰ درصد تأمین نیاز آبی با مدیریت خشکی موضعی ریشه در منطقه خرم‌آباد، اجرا گردید. نتایج نشان داد، میزان شاخص تنش آبی، به صورت معنی‌داری تحت تأثیر میزان تنش آبی قرار گرفت. میزان حد مجاز شاخص CWSI برای تیمارهای IR₁، IR₂، IR₃ و IR₄ به ترتیب برابر ۰/۱۷، ۰/۲۱، ۰/۳۹ و ۰/۲۹ و میزان عملکرد به ترتیب برابر ۲۱۵۶۰، ۱۹۵۰۰، ۱۲۵۶۰ و ۱۴۸۶۰ کیلوگرم در هکتار حاصل گردید. در این تحقیق، بهترین تیمار، IR₁ با کمترین میزان شاخص تنش آبی و بیشترین عملکرد و بدترین تیمار، IR₃ با بیشترین میزان شاخص تنش آبی و کمترین عملکرد، به دست آمد. یافته‌ها نشان داد که بر اساس شاخص CWSI، میزان تنش آبی در تیمار IR₄ (PRD) نسبت به تیمار IR₃ (کم‌آبیاری تنظیم شونده با تأمین ۶۰ درصد نیاز آبی) کمتر می‌باشد (شاخص CWSI به اندازه ۱۱/۴ درصد کاهش و میزان عملکرد به اندازه ۱۸/۳ درصد افزایش یافته است). در این تحقیق رابطه بین عملکرد ذرت علوفه‌ای و شاخص CWSI با همبستگی بالایی حاصل گردید. در نهایت، می‌توان بیان کرد که شاخص CWSI قابلیت بررسی میزان تنش آبی و برآورد میزان محصول تحت تنش آبی در گیاه ذرت علوفه‌ای را دارد.

واژه‌های کلیدی: تنش آبی، خشکی موضعی ریشه، ذرت علوفه‌ای، شاخص CWSI، کم‌آبیاری تنظیم شونده.

مقدمه

با توجه به وضعیت منابع آب کشور و تلاش برای تولید محصول بیشتر به ازای واحد حجم آب، مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری، یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای مدیریت آب در مزرعه می‌باشد. کم‌آبیاری تنظیم شده^۱ (RDI) و خشکی موضعی ریشه^۲ (PRD) دو روش مدیریتی مهم در شرایط کم‌آبی می‌باشد. برنامه‌ریزی آبیاری در این شرایط بسیار حائز اهمیت می‌باشد. یکی از عوامل مهم در برنامه‌ریزی آبیاری تحت شرایط مختلف، تعیین زمان آبیاری است. در روش‌های معمول، آبیاری زمانی انجام می‌شود که آب سهل‌الوصول در خاک توسط گیاه مصرف شده باشد اما در روش‌های نوین، به جای اندازه‌گیری آب موجود در خاک،

وضعیت رطوبت در گیاه مستقیماً مورد سنجش قرار می‌گیرد. دمای پوشش سبز گیاهی یکی از پارامترهایی است که بیانگر وضعیت آب در گیاه بوده و مبنای محاسبه شاخص تنش آبی گیاه (Crop Water Stress Index یا (CWSI)) می‌باشد. این شاخص هم از نظر تئوری و هم از دیدگاه مشاهده‌های مزرعه‌ای از قابلیت بالایی برخوردار بوده و در نظر عموم پژوهشگران از مقبولیت زیادی برخوردار است (Jackson *et al.*, 1981). شاخص CWSI شاخصی است که بر مبنای اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا، کمبود فشار بخار اشباع^۳ (VPD)، میزان تنش آبی را محاسبه می‌کند. میزان شاخص بین صفر (شرایط بدون تنش) تا یک (تنش کامل) تغییر پیدا می‌کند. با توجه به اینکه انرژی لازم برای فرایند تعرق، از طریق تابش نور خورشید تأمین می‌گردد، طی این عمل، آب از محیط خاک توسط گیاه

*نویسنده مسئول: saeedinia.m@lu.ac.ir

1. Regulated deficit irrigation
2. Partial root zone drying

شاخص CWSI جهت انجام برنامه‌ریزی آبیاری ذرت استفاده کرد. آن‌ها مقدار حد مجاز شاخص تنش آبی برای ذرت تابستانه و زمستانه را به ترتیب ۰/۲۳ و ۰/۱۷ به دست آوردند. Ahmadi *et al.* (2017) برای گیاه سویا، حد مجاز شاخص CWSI را ۰/۱۸ به دست آوردند. Colak *et al.* (2015). تحقیقی به منظور بررسی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در بادمجان تحت سیستم‌های قطره‌ای زیرسطحی و سطحی انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای دستیابی به حداکثر عملکرد و بالاترین کیفیت محصول مقدار CWSI باید بین ۰/۲ - ۰/۱۸ باشد، که از آن می‌توان برای انجام برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کرد. همچنین آن‌ها روابط بین CWSI و عملکرد را برای روش‌های قطره‌ای زیرسطحی و سطحی ارائه دادند. Sezen *et al.* (2014). تحقیقی برای تعیین شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) برای لفل فلز قرمز در ترسوس ترکیه، تحت روش‌های آبیاری قطره‌ای و سطحی خط مبنای بالا و پایین را برای لفل قرمز به ترتیب $(T_c - T_a)_{Li} = -1.1 - 0.49(VPD)$ و $2/86$ درجه سانتی‌گراد تعیین کردند. آن‌ها مقدار CWSI را برای حداکثر عملکرد در آبیاری قطره‌ای و سطحی به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۳۸ محاسبه کردند. شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) به‌منظور استفاده در برنامه‌ریزی آبیاری و ارزیابی عواملی نظیر تنش آبی، میزان تعرق، مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها یا پوشش سبز گیاه و عمل فتوسنتز توسط بسیاری از محققان از جمله Ribeiro *et al.* (2005) برای درخت لیموشیرین، Kar and Kumar (2007) برای گیاه بادام‌زمینی؛ Gontia and Tiwari (2008) برای گیاه گندم زمستانه؛ Li *et al.* (2010). برای گندم و ذرت؛ Wang and Lebourgeois *et al.* (2010) برای گیاه نیشکر؛ O'shaughnessy *et al.* (2010) Gartung برای درخت هلو؛ (2012) برای گیاه سورگوم، Colak *et al.* (2015) برای گیاه بادنجان مورد استفاده قرار گرفته است. ذرت گیاهی تک‌لپه و یک‌ساله از خانواده گرامینه و پوآسه است که دارای تنوع فنوتیپی بسیار زیادی می‌باشد (Seydi Shahivandi *et al.*, 2013). استان لرستان از نظر سطح زیر کشت ذرت در کشور در مقام دهم قرار دارد (Seydi Shahivandi *et al.*, 2013). استان لرستان با داشتن مناطق مستعد و واقع شدن در مسیر جبهه‌های مدیترانه‌ای از غرب، دارای منابع آب خوبی بوده و با توجه به شرایط اقلیمی مناسب، امکان کشت و توسعه محصول ذرت را دارا می‌باشد (Seydi Shahivandi *et al.*, 2013). اهداف تحقیق حاضر تعیین خط مبنای پایین و بالا برای گیاه ذرت علفه‌ای تحت شرایط اقلیمی خرم‌آباد، محاسبه حد مجاز شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) تحت تیمارهای مختلف

جذب می‌شود و پس از جریان در آوندهای گیاهی، در نهایت به صورت بخار از روزنه‌ها خارج می‌گردد و این عمل باعث کاهش دمای برگ می‌شود. حال در صورتی که رطوبت خاک کاهش یابد و در نتیجه گیاه آب کافی برای عمل تعرق نداشته باشد، روزنه‌های گیاه بسته شده و در نتیجه دمای برگ و در نهایت دمای پوشش سبز افزایش پیدا می‌کند (Seifi *et al.*, 2014). تأثیر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد ذرت توسط محققان زیادی در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است. Alinejadian *et al.* (2016) در کارایی مصرف آب ذرت (SC704) تحت تأثیر چهار سطح آبیاری ۱۰، ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی گیاه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد اثر سطوح مختلف آبیاری بر عملکرد ذرت معنی‌دار می‌باشد. Ishaghi Nasrabadi *et al.* (2014) به بررسی پارامترهای کمی و کیفی گیاه ذرت تحت تأثیر کم‌آبیاری تنظیم شونده و کم‌آبیاری موضعی ریشه (PRD) در ساری پرداختند. نتایج نشان داد در هر دو روش مدیریت آب، پارامترهای کیفی و کمی گیاه ذرت از جمله میزان پروتئین و عملکرد تحت تأثیر کم‌آبیاری می‌باشد. Etedali and Noriememzadehee (2013) به بررسی اثر تنش آب و کود بر عملکرد ذرت علفه‌ای در شهرکرد پرداختند. نتایج نشان داد اثر تنش آب بر روی میزان عملکرد و پروتئین ذرت علفه‌ای معنی‌دار بود. Kaur and Arora (2018) به مدل‌سازی اثر کم‌آبیاری به همراه درصد‌های مختلف کود، بر روی ذرت بهاره در مناطق شمال غربی هند پرداختند. نتایج نشان داد می‌توان اثرات کودهای مختلف و کم‌آبیاری را با دقت خوبی مدل کرد. Li *et al.* (2018) در چین به بررسی میزان تبخیر و تعرق، بهره‌وری گیاه ذرت تحت تیمارهای مختلف کودی و روش‌های مختلف آبیاری پرداختند و نتایج نشان داد پارامترهای مذکور، تحت تأثیر روش آبیاری و میزان کود مصرفی به صورت معنی‌داری تغییر پیدا می‌کنند. Panda *et al.* (2004) به بررسی اثر پنج سطح تخلیه مجاز ۱۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درصد بر عملکرد گیاه ذرت پرداختند. نتایج نشان داد، میزان تخلیه مجاز نباید بیشتر از ۴۵ درصد باشد. زیرا باعث کاهش معنی‌دار میزان عملکرد ذرت می‌گردد. Kang *et al.* (2000) به بررسی اثرات مدیریت‌های مختلف آبیاری مانند مدیریت آبیاری جویچه‌ای یک در میان و ثابت پرداختند. نتایج نشان داد، مدیریت آبیاری جویچه‌ای یک در میان، به صورت معنی‌داری باعث افزایش رشد ریشه گردیده است. Saeedinia *et al.* (2016) به‌منظور بررسی توانایی شاخص تنش آبی گیاه در انجام برنامه‌ریزی آبیاری ذرت در شرایط اقلیمی اهواز تحقیقی را در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد می‌توان از

۱۱۴۷ متری از سطح دریا انجام شد. متوسط ماهانه برخی از پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد ذرت علوفه‌ای در جدول (۱) ارائه شده است. قابل ذکر است، این آمار از ایستگاه سینوپتیک خرم‌آباد که در مجاورت دانشکده کشاورزی قرار دارد، اخذ گردید.

برای بررسی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه، نمونه‌برداری از نقاط مختلف تا عمق ۶۰ سانتی‌متری انجام شد. به طور کلی تعداد پنج نقطه به صورت W شکل از نقاط مختلف برداشت شد. نمونه‌ها سپس به آزمایشگاه انتقال داده شد و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش خاک در جدول (۲) و نتایج آزمایش‌های کیفیت آب آبیاری در جدول (۳) ارائه شده است.

کم‌آبیاری تنظیم شونده و خشکی موضعی ریشه و در نهایت بررسی تأثیر سطوح مختلف آبیاری روی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) و عملکرد ذرت علوفه‌ای بودند. ضرورت این تحقیق به این دلیل بود که تاکنون این شاخص برای برنامه‌ریزی ذرت در منطقه خرم‌آباد مورد استفاده قرار نگرفته بود. برای محاسبه این شاخص، یک سری ضرایب وجود دارند که باید برای هر گیاه و هر منطقه واسنجی گردند.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در سال زراعی ۱۳۹۶، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و در ارتفاع

جدول ۱. میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد در سال ۱۳۹۶

پارامتر اقلیمی	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بیشینه درجه حرارت (سانتی‌گراد)	۲۹/۳۶	۳۵/۸۱	۴۰/۹۰	۴۱/۴۵	۳۹/۰۸
کمینه درجه حرارت (سانتی‌گراد)	۱۱/۲۵	۱۳/۶۰	۲۰/۲۷	۲۱/۷۹	۱۸/۴۰
متوسط رطوبت نسبی (درصد)	۴۹/۰۱	۲۲/۷۰	۱۵/۸۷	۱۳/۹۸	۱۴/۹۸
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۷/۷	۷/۳	۶/۲۶	۵/۹۳	۵/۷
متوسط بارندگی (میلی‌متر)	۱/۰۹	۰	۰	۰	۰

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق خاک (cm)	بافت خاک	FC (% حجمی)	PWP (% حجمی)	ρ_b (gr/cm ³)	EC (dS/m)	P (ppm)	K (ppm)	کربن آلی (%)
۰-۳۰	لوم سیلتی	۲۵	۹	۱/۳۳	۰/۱	۶/۹	۳۴۵	۱/۶۲
۳۰-۶۰	لوم سیلتی	۲۶	۱۱	۱/۳۷	۰/۱۲	۲/۴	۲۱۸	۰/۷

جدول ۳. خصوصیات کیفی آب آبیاری در طول فصل

SAR	Na ⁺ (meq/l)	Mg ²⁺ (meq/l)	Ca ²⁺ (meq/l)	TDS(mg/l)	EC(dS/m)	PH
۰/۷۳	۱/۲۸	۱/۶	۴/۶	۳۹۷	۰/۶	۷

نظر گرفته شد. برای حذف اثر تیمارها بر یکدیگر فاصله کرت‌ها ۳ متر در نظر گرفته شد. بر اساس نتایج آزمایش خاک، نیاز کودی خاک منطقه، شامل ۱۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر، ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن برآورد شد. فسفر مورد نیاز به شکل آمونیوم فسفات و پتاسیم نیز به شکل سولفات پتاسیم بعد از شخم زمین و قبل از دیسک به صورت دستی به زمین اضافه شد. نیتروژن مورد نیاز هم به شکل اوره و در سه مرحله قبل از دیسک، مرحله ۸ برگی و مرحله گلدهی هر کدام به میزان برابر و به روش دستی در

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل چهار تیمار مدیریت آبیاری IR₁ (آبیاری کامل، تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی)، IR₂ (۸۰ درصد نیاز آبی)، IR₃ (۶۰ درصد نیاز آبی) و IR₄ (آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه (PRD) به صورت آبیاری یک در میان جویچه‌ها به صورت متغیر) در ۳ تکرار انجام شد. هر کرت آزمایشی به مساحت ۱۸ مترمربع با ۶ جویچه انتها بسته به طول ۵ متر و عرض ۶۰ سانتی‌متر ایجاد شد. از جویچه‌های وسط برای اندازه‌گیری دمای پوشش سبز و عملکرد استفاده شد و جویچه‌های کناری برای حذف اثرات حاشیه‌ای در

گرفت.

جدول ۴. برنامه آبیاری ذرت در تیمار IR₁ (۱۰۰ درصد تأمین نیاز آبی) در طول دوره رشد

نوبت آبیاری	عمق آبیاری (mm)	تاریخ آبیاری	عمق آبیاری (mm)
۱	۳۷	۹	۵۷
۲	۲۰	۱۰	۶۵
۳	۲۱	۱۱	۴۵
۴	۲۴	۱۲	۵۴
۵	۲۱	۱۳	۶۹
۶	۳۵	۱۴	۸۴
۷	۳۲	۱۵	۸۶
۸	۵۵	جمع کل	۷۰۵

Idso *et al.* (1981) شاخص تنش آبی را به صورت زیر

ارائه داده‌اند:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_{M} - (T_c - T_a)_{L1}}{(T_c - T_a)_{U1} - (T_c - T_a)_{L1}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن $(T_c - T_a)_{L1}$: بر حسب درجه سانتی‌گراد، بیانگر خط مبنای پایین شاخص می‌باشد و برابر است با اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه (T_c) با هوای مجاور (T_a) در شرایط بدون تنش. این خط مشخص‌کننده مکان هندسی نقاطی است که در آن میزان تبخیر و تعرق حداکثر می‌باشد، $(T_c - T_a)_{U1}$: خط مبنای بالایی و یا خط تنش کامل می‌باشد و معرف حداکثر مقداری است که می‌توان برای اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوای مجاور انتظار داشت، $(T_c - T_a)_m$ اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا برای هر روزی است که قصد داریم میزان شاخص تنش برای آن روز محاسبه شود. Idso *et al.* (1981) خط مبنای پایینی تنش و روابط مربوطه را به صورت زیر معرفی کرد:

$$(T_c - T_a)_{L1} = a + b \cdot (VPD) \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این رابطه a و b ضرایب معادله خط مبنای پایین می‌باشد و باید برای هر گیاه در هر منطقه تعیین گردند، زیرا این ضرایب تابع پارامترهای مختلفی همچون نوع گیاه، وارسته و اقلیم می‌باشند (Colack and Yazari, 2017)، (VPD) Vapor (Pressure Deficit): کمبود فشار بخار هوا بر حسب میلی‌بار می‌باشد و با توجه به روابط زیر محاسبه می‌گردد (Howell & Dusek, 1995; Idso *et al.*, 1981).

$$VPD = e_{s(T_a)} - e_a \quad (\text{رابطه ۶})$$

$$e_{s(T_a)} = \left(6.108 * \text{EXP} \left(\frac{17.27 * T_a}{T_a + 237.3} \right) \right) \quad (\text{رابطه ۷})$$

$$e_a = e_{s(T_a)} \times \left(\frac{RH}{100} \right) \quad (\text{رابطه ۸})$$

اختیار گیاه قرار گرفت. عملیات کاشت ذرت در تاریخ ۲۷ اردیبهشت ۹۶ به صورت دستی انجام شد. رقم ذرت کشت شده SC(704) بود. حدود یک ماه پس از کاشت و زمانی که بوته‌ها ۴ تا ۶ برگه شدند، تیمارهای آبیاری اعمال شدند. به این صورت که در هر آبیاری برای هر تیمار ضرایب تنش اعمال می‌گردید و حجم آب آبیاری برای هر تیمار محاسبه و در اختیار آن‌ها قرار می‌گرفت. آبیاری مزرعه به روش آبیاری جویچه‌ای انجام شد. برای آبیاری کرت‌های آزمایشی از سیستم لوله و کنتور استفاده شد. در مجموع، در طول دوره رشد تعداد ۱۵ آبیاری انجام شد (جدول ۴). در این تحقیق دور آبیاری ثابت و به طور متوسط ۶ روز (دور آبیاری رایج در منطقه) در نظر گرفته شد. عمق خالص آبیاری با هدف جایگزین نمودن رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد ظرفیت زراعی از رابطه زیر محاسبه شد.

$$d_n = (\theta_{fc} - \theta_i) \times \rho_b \times Z_r \quad (\text{رابطه ۱})$$

در این رابطه:

d_n : عمق خالص آبیاری (mm)، θ_i : رطوبت وزنی خاک قبل از آبیاری، ρ_b : جرم مخصوص ظاهری خاک (g/cm^3) و Z_r : عمق ریشه (mm) است. در نهایت عمق ناخالص و حجم آب مورد نیاز برای هر تیمار آبیاری با در نظر گرفتن مساحت هر کرت و هر تیمار محاسبه شد و به وسیله یک کنتور حجمی که در مسیر لوله بود اختصاص داده شد.

$$d_g = \frac{d_n}{E_a} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$V = d_g \times A \times f \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در این رابطه:

d_g : عمق ناخالص آبیاری (mm)، V : حجم آب آبیاری (lit)، A : سطح هر کرت (m^2) می‌باشد، E_a : راندمان کاربرد می‌باشد که در این تحقیق ۹۵٪ در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه جویچه‌ها انتها بسته بودند، لذا تلفات آب وجود نداشت. ۵ درصد تلفات نیز به علت ایجاد اطمینان کامل تأمین آب مورد نیاز و در نظر گرفتن تلفات در زمان جابجایی لوله‌ها، در نظر گرفته شد و f : ضریب مربوط به هر تیمار که به ترتیب برای تیمارهای کم‌آبیاری تنظیم شده IR₁، IR₂، IR₃ برابر ۱، ۰/۸، ۰/۶ و برای تیمار کم‌آبیاری به روش خشکی موضعی ریشه (PRD)، در این روش، جویچه‌ها به صورت یک درمیان آبیاری گردیدند. در واقع در این روش مدیریت آبیاری، در هر آبیاری، فاروها به صورت یک در میان، خشک باقی ماند و در نوبت بعدی آبیاری، جای فاروها تعویض گردید و در نهایت با این روش آبیاری ۵۰ درصد از آب مورد نیاز مزرعه در اختیار گیاه قرار

نتایج و بحث

برای بررسی میزان شاخص تنش آبی در هریک از تیمارهای آزمایشی، ابتدا وضعیت خطوط مبنای پایین و بالا برای گیاه ذرت علوفه‌ای مشخص گردید. برای تعیین خط مبنای پائین و بالا، از سری داده‌های دمایی برداشت شده در روزهای بعد از آبیاری تیمار (IR₁) و معادله‌های ارائه شده در بخش‌های قبل استفاده شد. به عنوان نمونه، نحوه محاسبات خط مبنای بالا و پایین در تیمار IR₁ در نوبت آبیاری (۱۳۹۶/۴/۳۱)، در جدول (۶) و نمودار مربوطه در شکل (۱) ارائه گردیده است. همان طور که داده‌های جدول (۶) و شکل (۱) نشان می‌دهد، از ساعت ۸ تا ۱۴، هر یک ساعت یک‌بار داده‌های دمایی پوشش سبز، دمای هوا برداشت گردید. بر اساس دمای خشک و دمای تر که توسط سایکرومتر قرائت گردید و همچنین معادلات مربوطه، میزان کمبود فشار بخار اشباع محاسبه گردید. سپس بر اساس اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا و همچنین پارامتر کمبود فشار بخار اشباع در هر ساعت، معادلات خط مبنای پایین و بالا حاصل گردید.

معادلات خط مبنای پایین مربوط به ۸ نوبت آبیاری که در این نوبت‌ها، داده‌های دمای برگ برداشت گردید، در جدول (۷) ارائه شده است.

همان طور که داده‌های جدول (۷) نشان می‌دهد، ضریب a در طول فصل رشد بین ۰/۰۶۸ تا ۰/۱ و ضریب b بین ۳/۲۹ تا ۴/۱۶۳ نوسان دارد. نتایج تحقیق (Ahmadi *et al.*, 2017) روی گیاه سویا، (Saeedinia *et al.*, 2016) روی گیاه ذرت، (Colak *et al.*, 2015) روی بادمجان نشان داد که ضرایب a و b در طول فصل رشد، نوساناتی دارد. به نظر می‌رسد علت تفاوت به تغییرات پتانسیل جذب و میزان تعرق در طول دوره رشد برگردد (Ahmadi *et al.*, 2017). در نهایت، معادله کلی خط مبنای پایین و بالای ذرت علوفه‌ای، با استفاده از کل داده‌های برداشت شده در طول فصل رشد به دست آمد (نمودار ۲).

در روابط فوق $e_{s(T_a)}$: فشار بخار اشباع در دمای هوا (T_a) بر حسب میلی‌بار، e_a : فشار بخار واقعی هوا بر حسب میلی‌بار و RH: درصد رطوبت نسبی می‌باشد. معادله خط مبنای بالا نیز با توجه به روابط زیر محاسبه می‌گردد (Idso *et al.*, 1981).

$$(Rابطه ۹) \quad (T_c - T_a)_{ul} = a + b \cdot |VPG|$$

$$(Rابطه ۱۰) \quad VPG = e_{s(T_a+a)} - e_{s(T_a)}$$

در این روابط (Vapor Pressure Gradient) VPG: شیب فشار بخار هوا بر حسب میلی‌بار و a و b : ضرایب رابطه خطی می‌باشند و یا به عبارت دیگر در این شرایط، عمل تعرق، بدون وابستگی به مقدار VPD قطع می‌گردد.

در هر یک از تیمارها، در ۸ نوبت از آبیاری‌های انجام شده، درجه حرارت پوشش سبز در روزهای بعد از آبیاری، بر اساس روش (Idso *et al.*, 1981) هر یک ساعت یک‌بار از ساعت ۸ صبح الی ۱۴ بعد از ظهر توسط دستگاه دماسنج مادون قرمز، مدل laser-pyrometer با D:S=8:1، از چهار جهت اندازه‌گیری و دماسنج‌های تر و خشک نیز از جعبه مشبک واقع در مزرعه قرائت شد (جدول ۵). همچنین در روزهای قبل از آبیاری، دمای پوشش سبز گیاه، از ساعت ۱۱ الی ۱۵ (بالاترین شرایط دمایی) ثبت گردید. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری دمای برگ در ماه اول از دوره رشد، به علت کوچک بودن گیاه و وسعت اندازه‌گیری دماسنج (اندازه‌گیری دمای سطح خاک) انجام نگرفت. قابل ذکر است که در محاسبه شاخص تنش آبی، از منابع خطا، می‌توان به دقت اندازه‌گیری دستگاه، دقت برداشت داده‌ها و یا تغییر شرایط محیطی (سایه و آفتابی شدن هوا) اشاره کرد.

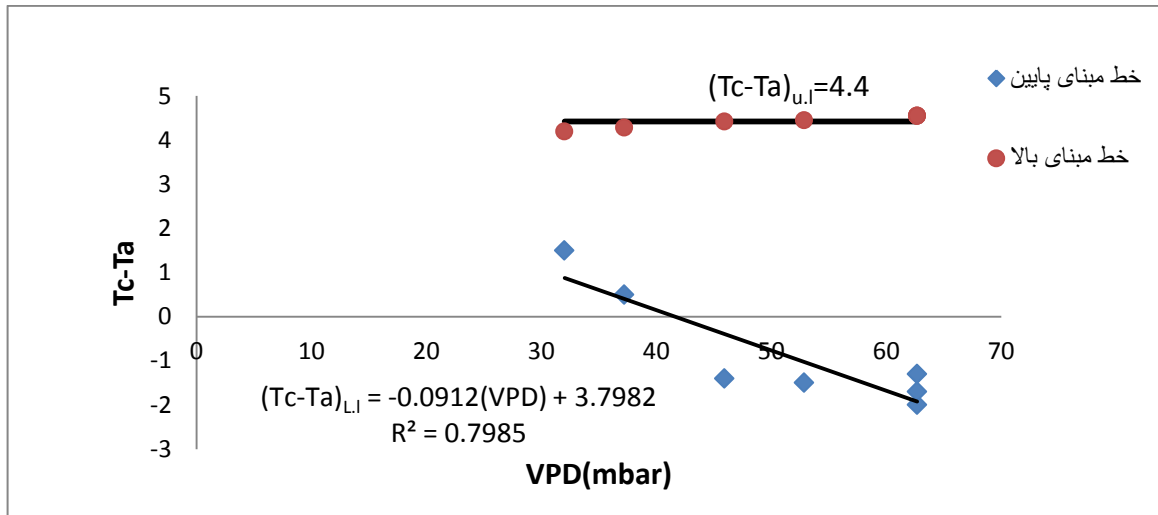
جدول ۵. تاریخ آبیاری که در آن‌ها، اطلاعات دمای پوشش سبز و دمای هوا

اندازه‌گیری گردیده است

ردیف	تاریخ آبیاری	ردیف	تاریخ آبیاری
۱	۱۳۹۶/۴/۱۳	۵	۱۳۹۶/۵/۶
۲	۱۳۹۶/۴/۱۹	۶	۱۳۹۶/۵/۱۲
۳	۱۳۹۶/۴/۲۵	۷	۱۳۹۶/۵/۱۸
۴	۱۳۹۶/۴/۳۱	۸	۱۳۹۶/۵/۲۴

جدول ۶. محاسبات خط مبنای پایین و بالا برای آبیاری تاریخ ۱۳۹۶/۴/۳۱

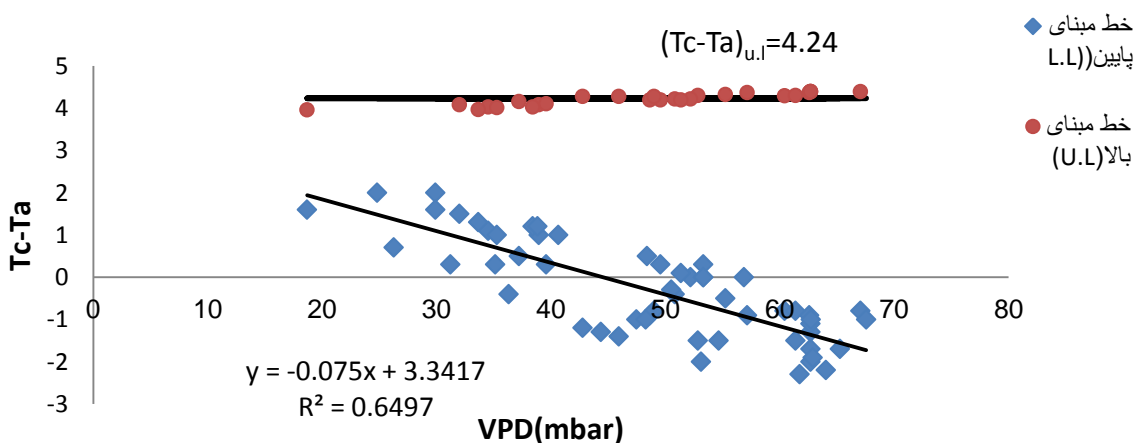
UPPER LINE	VPG	$e_{s(T_a+a)}$	$e_{s(T_a)}$	$T_a+a=t_c$	$(T_c - T_a)_{ll}$	$T_c - T_a$	VPD	T_a	T_c	ساعت برداشت
۴/۲	۱۱/۴	۵۹/۸	۴۸/۴	۳۶/۳	-۰/۹۴	۱/۵	۳۲/۰۱	۳۲/۵	۳۲	۰۸:۰۰
۴/۳	۱۲/۵	۶۶/۷	۵۴/۱	۳۸/۳	-۰/۵۵	۰/۵	۳۷/۲	۳۴/۵	۳۳	۰۹:۰۰
۴/۴	۱۴/۴	۷۸/۲	۶۳/۸	۴۱/۳	-۰/۱	-۱/۴	۴۵/۹	۳۷/۵	۳۴/۱	۱۰:۰۰
۴/۴	۱۴/۷	۸۰/۳	۶۵/۶	۴۱/۸	-۰/۶۲	-۱/۵	۵۲/۸	۳۸	۳۴/۵	۱۱:۰۰
۴/۵	۱۶/۱	۸۹/۲	۷۳	۴۳/۸	-۱/۳۶	-۲	۶۲/۷	۴۰	۳۶	۱۲:۰۰
۴/۵	۱۶/۱	۸۹/۲	۷۳	۴۳/۸	-۱/۳۶	-۱/۷	۶۲/۷	۴۰	۳۶/۳	۱۳:۰۰
۴/۵	۱۶/۱	۸۹/۲	۷۳	۴۳/۸	-۱/۳۶	-۱/۳	۶۲/۷	۴۰	۳۶/۷	۱۴:۰۰



شکل ۱. نمودار خطوط مبنای پایین و بالای مربوط به آبیاری (۱۳۹۶/۴/۳۱)

جدول ۷. معادلات خطوط مبنای بالا و پایین در نوبت‌های مختلف آبیاری در طول فصل رشد

R ²	n	معادله خط مبنای پایین	معادله خط مبنای بالا	نوبت آبیاری
۰/۹۶	۷	$(T_c - T_a)_{l,l} = ۳/۵۷ - ۰/۰۶۸(VPD)$	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=۴/۴۳$	۱۳۹۶/۴/۱۳
۰/۸۰	۷	$(T_c - T_a)_{l,l} = ۳/۷۹۸ - ۰/۰۹۱(VPD)$	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=۴/۴۲$	۱۳۹۶/۴/۱۹
۰/۷۷	۷	$(T_c - T_a)_{l,l} = ۳/۴۶۱ - ۰/۰۷۴(VPD)$	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=۴/۳۲$	۱۳۹۶/۴/۲۵
۰/۵۱	۷	$(T_c - T_a)_{l,l} = ۲/۴۶۸ - ۰/۰۵۷(VPD)$	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=۴/۰۱$	۱۳۹۶/۴/۳۱
۰/۹۸	۷	$(T_c - T_a)_{l,l} = ۳/۲۹ - ۰/۰۹۳(VPD)$	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=۴/۱۶$	۱۳۹۶/۵/۰۶
۰/۹۵	۷	$(T_c - T_a)_{l,l} = ۳/۸۶۳ - ۰/۰۶۹(VPD)$	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=۴/۴۹$	۱۳۹۶/۵/۱۲
۰/۷۹	۷	$(T_c - T_a)_{l,l} = ۴/۰۹۶ - ۰/۱۰۰(VPD)$	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=۳/۳۶$	۱۳۹۶/۵/۱۸
۰/۸۳	۷	$(T_c - T_a)_{l,l} = ۴/۱۶۳ - ۰/۰۸۸(VPD)$	$h=(T_c - T_a)_{u,l}=۴/۴۹$	۱۳۹۶/۵/۲۴

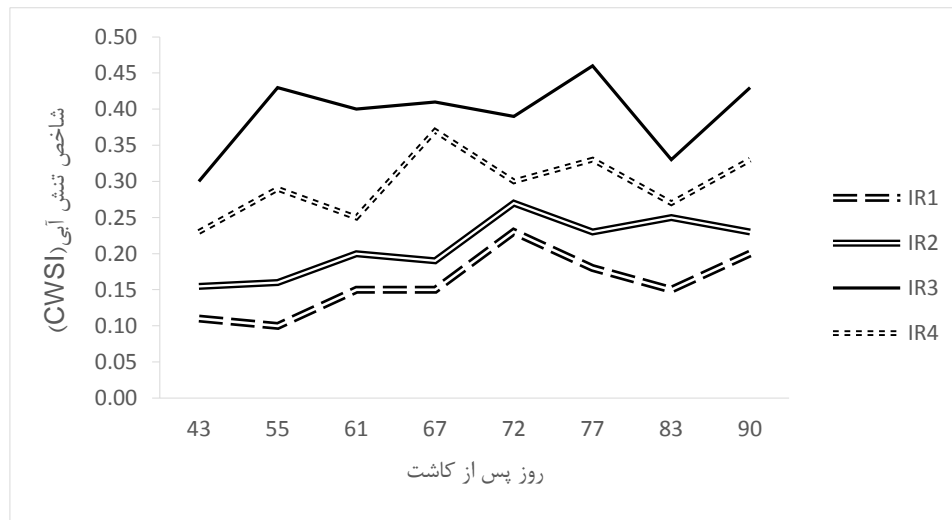


شکل ۲. نمودار خط مبنای پایینی و بالایی برای ذرت علوفه‌ای تحت تیمار IR_۱ (آبیاری کامل)

ضرایب در طول فصل رشد برابر ۳/۵۸۸، ۰/۰۸ حاصل گردید. Idso *et al.* (1981) این ضرایب را به ترتیب برابر ۳/۱۱ و ۰/۱۹۷ به دست آورد. به نظر می‌رسد تفاوت‌ها به شرایط اقلیمی و حتی

همان طور که شکل (۲) نشان می‌دهد، ضرایب کلی a ، b به ترتیب برابر ۳/۳۴۱، ۰/۰۷۵ به دست آمد که تقریباً برابر میانگین ضرایب جدول (۷) در طول فصل رشد بود. میانگین

۴ شاخص تنش آبی محاسبه گردید. به منظور استفاده از شاخص CWSI برای بررسی وضعیت تنش آبی و همچنین برنامه‌ریزی آبیاری تحت مدیریت کم‌آبیاری تنظیم شده و بخشی، میزان شاخص تنش آبی در روزهای قبل از آبیاری برای هریک از تیمارهای تنش محاسبه گردید. در شکل (۳) روند تغییرات شاخص تنش آبی تحت تیمارهای مختلف آزمایشی، در طول دوره رشد نشان داده شده است.



شکل ۳. روند تغییرات شاخص تنش آبی در طول دوره رشد

سیستم آبیاری قطره‌ای میزان شاخص تنش آبی در کم‌آبیاری تنظیم شونده (۵۰ درصد نیاز آبی) و برای PRD-50 برابر ۰/۴۵ به دست آمده است. (Colack and Yazar 2017) طی یک تحقیق ۳ ساله بر روی انگور، میزان شاخص تنش آبی را تحت تیمارهای مختلف کم‌آبیاری و PRD مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در تیمارهای PRD، میزان عملکرد بیشتر و شاخص تنش آبی کمتر، مشاهده گردید. برای مقایسه بهتر، مقدار میانگین شاخص تنش آبی در طول دوره رشد ذرت علوفه‌ای محاسبه گردید و با استفاده از آزمون دانکن، مقایسه میانگین صورت گرفت (جدول‌های ۸ و ۹).

جدول ۸. تجزیه واریانس شاخص تنش آبی تحت شرایط تنش آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات
بلوک	۲	۰/۰۰۰۵ ^{ns}
تیمار	۳	۰/۰۲۸۹ ^{**}
خطای آزمایشی	۶	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات (٪)		۵/۱۲

^{ns} و ^{**} به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج و یک درصد

نوع رقم گیاه برگردد. (Saeedinia *et al.* 2016)، در اهواز، برای ذرت پاییزه ضرایب a و b را ۲/۷۲۴ و ۰/۱۶۶ و برای ذرت بهاره ۱/۲۸ و ۰/۱۷۳ به دست آورد. (Idso 1982) در مناطقی از آمریکا، ضرایب a و b را ۳/۱۱ و ۰/۱۹۷ به دست آورد. ضرایب a و b تحت تأثیر وارسته، مدیریت، شرایط آب و خاک و اقلیم قرار می‌گیرد (Colack and Yazar, 2017).

با مشخص شدن خطوط مبنای بالا و پایین و متوسط دمای پوشش سبز در روزهای قبل از آبیاری، با استفاده از رابطه

همان طور که شکل (۳) نشان می‌دهد، با افزایش تنش آبی، میزان شاخص تنش آبی افزایش پیدا کرده است. به گونه‌ای که کمترین مقدار شاخص متعلق به تیمار (IR₁) (۰/۱ تا ۰/۲) و بیشترین مقدار شاخص در تیمار کم‌آبیاری تنظیم شونده (IR₃) (۰/۳ تا ۰/۴۶) مشاهده گردید. با کاهش آب قابل دسترس گیاه، میزان تنش وارد بر گیاه افزایش پیدا کرده و لذا گیاه برای سازگاری با این شرایط، روزنه‌ها را بسته و در نتیجه میزان تعرق کاهش پیدا می‌کند و در نهایت درجه حرارت برگ و دمای پوشش سبز افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان شاخص تنش آبی نیز افزایش می‌یابد (Seifi *et al.*, 2014). مقایسه بین نمودار IR₃ و IR₄ نشان می‌دهد که میزان دمای پوشش سبز و در نتیجه شاخص تنش آبی، در تیمار کم‌آبیاری به روش PRD (۵۰ درصد) کمتر از تیمار کم‌آبیاری تنظیم شونده (۶۰ درصد تأمین نیاز آبی) می‌باشد و این بیانگر برتری روش PRD نسبت به کم‌آبیاری تنظیم شونده است. (Sezen *et al.* 2014) طی یک تحقیقی میزان عملکرد و شاخص تنش آبی را برای تیمارهای مختلف کم‌آبیاری تنظیم شونده و آبیاری با خشکی موضعی ریشه (PRD) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد در

آبی گیاه نیز در روز قبل از آبیاری، ۰/۱۷ محاسبه شد. برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس شاخص تنش آبی، به گونه‌ای صورت می‌گیرد که حداکثر تنش وارده از ۰/۱۷ تجاوز نکند. به عبارت دیگر، در صورت عدم اعمال تنش، برای تشخیص زمان آبیاری، دمای پوشش سبزی، دمای تر و خشک در ساعات ۱۲ تا ۱۵ اندازه‌گیری می‌شود و سپس بر اساس روابط ۴ تا ۱۰، مقدار شاخص CWSI محاسبه می‌گردد. اگر مقدار محاسبه شده، بیشتر از ۰/۱۷ باشد، آبیاری باید صورت گیرد. در صورت اعمال تنش به صورت کم‌آبیاری تنظیم شونده، حد مجاز شاخص به ۰/۲۱ و ۰/۳۹ و در صورت آبیاری بخشی با مدیریت آبیاری یک درمیان جویچه‌ها، مقدار حد مجاز شاخص به ۰/۲۹ می‌رسد.

(Saeedinia *et al.*, 2016) در شرایط اقلیمی اهواز، برای ذرت بهاره در اهواز، میزان شاخص تنش آبی گیاه را ۰/۱۷، در این حالت معادله خط مبنای پایین $(T_c - T_a)_{ll} = 1.28 - 0.173(VPD)$ و برای ذرت پاییزه، میزان شاخص تنش آبی، ۰/۲۱ و معادله خط مبنای پایین را برابر $(T_c - T_a)_{ll} = 2.724 - 0.166(VPD)$ بیان کرد. (Idso (1982) برای یک سری از گیاهان معادلات خط مبنای پایین و بالا را برای بخش‌هایی از مناطق آمریکا محاسبه کرد، به عنوان نمونه برای ذرت، معادله خط مبنای پایین برابر $(T_c - T_a)_{ll} = 3.11 - 0.197(VPD)$ محاسبه شده است. بر اساس نتایج مختلف محققین، به نظر می‌رسد، علت تفاوت‌ها به تغییرات شرایط اقلیمی برگردد. در این تحقیق به منظور بررسی قابلیت شاخص CWSI برای پیش‌بینی میزان عملکرد نهایی ذرت علوفه‌ای تحت تنش آبی، بین میزان شاخص تنش آبی CWSI و عملکرد نهایی ذرت علوفه‌ای، تحت هریک از تیمارها، برازش صورت گرفت و در نهایت با معادله زیر با درجه همبستگی بالایی به دست آمد (شکل ۴).

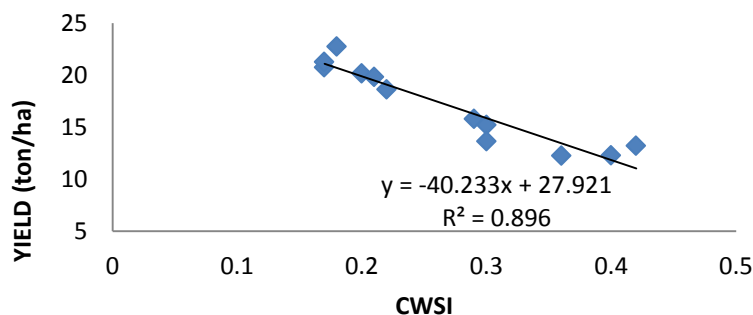
$$\text{Yield} = -40.233 \text{ CWSI} + 27.921 \quad (\text{رابطه } ۱)$$

جدول ۹. مقایسه میانگین شاخص تنش آبی تحت شرایط تنش آبی

تیمار	درجه آزادی
IR ₁	۰/۱۷d
IR ₂	۰/۲۱c
IR ₃	۰/۳۹a
IR ₄	۰/۳b

میانگین‌های دارای حروف مشترک براساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند

تجزیه واریانس داده‌های مربوط به شاخص تنش آبی نشان داد که اثر تنش آبی بر این شاخص، در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار بود (جدول ۸). مقایسه میانگین داده‌های مربوط به شاخص تنش آبی نشان داد در سطح احتمال ۹۵ درصد، تفاوت بین تیمارهای مختلف، معنی‌دار شده است. کمترین مقادیر شاخص تنش آبی، در تیمار آبیاری کامل (IR₁) حاصل شد (۰/۱۷) و بیشترین مقدار تنش نیز در شرایط تنش آبی در حد ۶۰ درصد نیاز آبی، به دست آمد (۰/۳۹). با توجه به جدول (۹) تحت مدیریت کم‌آبیاری تنظیم شونده، میزان شاخص CWSI در تیمار IR₃ نسبت به تیمار شاهد، ۳ برابر و در تیمار IR₄ ۲/۲ برابر شده است. به عبارت دیگر، بر اساس شاخص CWSI میزان تنش آبی نیز در تیمار IR₄ نسبت به تیمار IR₃ کمتر می‌باشد. نتایج عملکرد نیز این وضعیت را تأیید می‌کند. میزان عملکرد در تیمارهای IR₁، IR₂، IR₃ و IR₄ به ترتیب برابر ۱۹۵۰۰، ۱۲۵۶۰ و ۱۴۸۶۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همان‌طور که اشاره گردید، محققانی همچون Sezen *et al.* (2014) برتری روش PRD را نسبت به روش کم‌آبیاری تأیید کرده‌اند. با توجه به اینکه تیمار شاهد، بیشترین مقدار عملکرد محصول را دارد، اساس برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط بدون تنش قرار می‌گیرد. معادله‌های خط مبنای بالا و پایین، برای تیمار شاهد، $h = (T_c - T_a)_{ll} = 4.24, (T_c - T_a)_{ll} = 3.342 - 0.075(VPD)$ محاسبه گردید. همان‌طور که ذکر گردید، میزان شاخص تنش



شکل ۴. رابطه بین میزان عملکرد نهایی ذرت علوفه‌ای و شاخص CWSI

تیمار IR1 با کمترین میزان شاخص و بدترین تیمار IR3 با بیشترین میزان شاخص تنش آبی به دست آمد. همان‌طور که نتایج نشان داد، میزان تنش آبی در تیمار IR4 نسبت به تیمار IR3 کمتر بود. میزان عملکرد در تیمارهای IR1، IR2، IR3 و IR4 به ترتیب برابر ۲۱۵۶۰، ۱۹۵۰۰، ۱۲۵۶۰ و ۱۴۸۶۰ کیلوگرم در هکتار به دست آمد. همان‌طور که میزان عملکرد تحت تیمارهای تنش نشان می‌دهد، بیشترین میزان عملکرد، تحت تیمار IR1 و کمترین میزان عملکرد تحت تیمار IR3 به دست آمد. با توجه به تغییرات میزان شاخص تنش تحت تیمارهای مختلف می‌توان بیان کرد که شاخص CWSI قابلیت بررسی میزان تنش آبی در گیاه ذرت را دارد. علاوه بر این با استفاده از معادله $Yield = -40.233 CWSI + 27.921$ می‌توان از شاخص CWSI برای پیش‌بینی میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای تحت تنش‌های مختلف در منطقه خرم‌آباد استفاده کرد.

سپاسگزاری

تحقیق حاضر نتیجه طرح تحقیقاتی درون دانشگاهی با عنوان بررسی توانایی شاخص CWSI در برنامه‌ریزی آبیاری ذرت علوفه‌ای در شرایط اقلیمی خرم‌آباد می‌باشد. از دانشگاه لرستان به خاطر تأمین بخش مالی تحقیق کمال سپاسگزاری را دارم.

REFERENCES

- Ahmadi, H., nasrolahi, A., sharifipur, M., isvand, H. (2017). Soybean irrigation scheduling by using the temperature difference of the air and canopy cover I. *Water and Irrigation Management*, 7(1), 121-134. doi: 10.22059/jwim.2018.65502. (In Farsi).
- Alinejadian Bidabadi, A., Jorooni, E., Barzegar, A., Maleki, A. (2016). The effect of different irrigation levels on water use efficiency on the basis of maize grain and soil moisture variations. *Water and Irrigation Management*, 6(1), 47-59. (In Farsi).
- Çolak, Y. B., Yazar, A., Çolak, İ., Akça, H., & Duraktekin, G. (2015). Evaluation of crop water stress index (CWSI) for eggplant under varying irrigation regimes using surface and subsurface drip systems. *Agriculture and agricultural science procedia*, 4, 372-382.
- Çolak, Y. B., & Yazar, A. (2017). Evaluation of crop water stress index on Royal table grape variety under partial root drying and conventional deficit irrigation regimes in the Mediterranean Region. *Scientia horticulturae*, 224, 384-394.
- Etedali, S., Noriememzadehee, M. (2013). Effects of Water Stress and Fertilization on Yield and Protein of Forage Maize under Fertigation System. *Irrigation Sciences and Engineering*, 35(4), 39-47. (In Farsi).
- Gontia, N. K., & Tiwari, K. N. (2008). Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agricultural water management*, 95(10), 1144-1152.
- Howell, T. A., & Dusek, D. A. (1995). Comparison of vapor-pressure-deficit calculation methods—southern high plains. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 121(2), 191-198.
- Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter Jr, P. J., Reginato, R. J., & Hatfield, J. L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology*, 24, 45-55.
- Idso, S. B. (1982). Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology*, 27(1-2), 59-70.
- IshaghiNasrabadi, E., Shahnazari, A., Ziatabarhamadi, M., Aghajani, G., Karandish, F. (2014). Investigation of Quantity and Quality Traits of Maize Yield under Partial Root Zone Drying and Deficit Irrigation Strategies. *Irrigation Sciences and Engineering*, 37(3), 73-81. (In Farsi).
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J., & Pinter Jr, P. J. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water resources research*, 17(4), 1133-1138.
- Kang, S., Liang, Z., Pan, Y., Shi, P., & Zhang, J. (2000). Alternate furrow irrigation for maize

همان‌طور که شکل (۴) نشان می‌دهد، بیشترین عملکرد ذرت علوفه‌ای در تیمار IR1 با متوسط شاخص تنش ۰/۱۷ برابر ۲۱/۵۶ تن در هکتار و کمترین میزان عملکرد نهایی ذرت علوفه‌ای تحت تیمار IR3 با متوسط شاخص تنش ۰/۳۹ برابر ۱۴/۸۶ تن در هکتار حاصل گردید. همبستگی بالای عملکرد محصول و شاخص تنش آبی، بیانگر این است که این شاخص، شرایط تنش را به خوبی نشان داده و می‌تواند به عنوان یک شاخص مناسب، برای برآورد میزان محصول ذرت علوفه‌ای در شرایط تنش تحت اقلیم خرم‌آباد در نظر گرفته شود (معادله ۱۱).

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، معادله‌های خط مبنای پایین و بالا برای تیمار شاهد، $(T_c - T_a)_{ul} = 3.342 - 0.075(VPD)$ ، $(T_c - T_a)_{ul} = 4.24$ محاسبه گردید. بر اساس نتایج، اثر تنش آبی بر شاخص CWSI معنی‌دار گردید. در این تحقیق، حد مجاز شاخص CWSI در شرایط آبیاری کامل یا بدون تنش (IR1)، ۸۰ درصد تأمین نیاز آبی (IR2)، ۶۰ درصد تأمین نیاز آبی (IR3)، آبیاری بخشی با مدیریت یک در میان جویچه‌ها (IR4)، به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۲۱، ۰/۳۹ و ۰/۲۹ محاسبه شد. از نظر شاخص تنش آبی، بهترین

- production in an arid area. *Agricultural water management*, 45(3), 267-274.
- Kar, G., & Kumar, A. (2007). Surface energy fluxes and crop water stress index in groundnut under irrigated ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology*, 146(1-2), 94-106.
- Kaur, R., & Arora, V. K. (2018). Assessing spring maize responses to irrigation and nitrogen regimes in north-west India using CERES-Maize model. *Agricultural Water Management*, 209, 171-177.
- Lebourgeois, V., Chopart, J. L., Bégué, A., & Le Mézo, L. (2010). Towards using a thermal infrared index combined with water balance modelling to monitor sugarcane irrigation in a tropical environment. *Agricultural Water Management*, 97(1), 75-82.
- Li, C., Li, Y., Li, Y., & Fu, G. (2018). Cultivation techniques and nutrient management strategies to improve productivity of rain-fed maize in semi-arid regions. *Agricultural Water Management*, 210, 149-157.
- Li, L., Nielsen, D. C., Yu, Q., Ma, L., & Ahuja, L. R. (2010). Evaluating the crop water stress index and its correlation with latent heat and CO₂ fluxes over winter wheat and maize in the North China plain. *Agricultural Water Management*, 97(8), 1146-1155.
- O'Shaughnessy, S. A., Evett, S. R., Colaizzi, P. D., & Howell, T. A. (2012). A crop water stress index and time threshold for automatic irrigation scheduling of grain sorghum. *Agricultural water management*, 107, 122-132.
- Panda, R. K., Behera, S. K., & Kashyap, P. S. (2004). Effective management of irrigation water for maize under stressed conditions. *Agricultural Water Management*, 66(3), 181-203.
- Ribeiro, R. V., Machado, E. C., & Santos, M. G. (2005). Leaf temperature in sweet orange plants under field conditions: influence of meteorological elements. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, 13(3), 353-368.
- Saeedinia, M., Hooshman, A., Brooman Nasab, S., Soltani Mohammadi, A., Andarzian, B. (2016). Investigation of the Effect of Water Irrigation Salinity on the Performance of CWSI Index under the Climatic Conditions of Ahvaz. *Irrigation Sciences and Engineering*, 39(4), 1-12. (In Farsi).
- Seifi, A., Mirlatifi, S., Dehghanisani, H., Torabi, M. (2014). Determination of Crop Water Stress Index for Pistachio Trees under Subsurface Drip Irrigation Using Canopy-Air Temperature Difference. *Water and Irrigation Management*, 4(1), 123-136. doi: 10.22059/jwim.2014.51642
- Seydi Shahivandi, M., Khaledi, S., Shakiba, A.R., mirbagheri, B. (2013). The Agroclimate Zoning of Grainy maize using GIS Techniques in Lorestan province. *Applied research in Geographical Sciences*, 13(29), 195-214. (In Farsi).
- Sezen, S. M., Yazar, A., Daşgan, Y., Yucel, S., Akyıldız, A., Tekin, S., & Akhoundnejad, Y. (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.
- Wang, D., & Gartung, J. (2010). Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 97(11), 1787-1794.