

Determination of A Crop Water Stress Index (CWSI) For Detecting Water Stress time of Maize Crop in the Urmia Region

AFSHIN KHORSAND*¹, VAHID REZAVERDINEJAD², HOSSEIN ASGARZADEH³, ABOLFAZL MAJNOONI HERIS⁴, AMIR RAHIMI⁵, SINA BESHARAT⁶, ALI ASHRAF SADRADDINI⁷

1. Ph. D Candidate of Irrigation and Drainage, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia Iran.
2. Associate Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran.
4. Associate Professor, Department of Water Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.
5. Assistant Professor, Department of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran.
6. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran.
7. Professor, Department of Water Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.

(Received: July. 15, 2018- Revised: Aug. 14, 2018- Accepted: Aug. 18, 2018)

ABSTRACT

Infrared thermometer is one of the proper irrigation scheduling tools that can be used in fields or gardens with different soil texture. In order to schedule irrigation of maize (SC704) in Urmia climate conditions, using a difference in temperature of canopy cover of plant and air in 2017, a research was conducted at research farm of Urmia University college of agriculture under drip irrigation. In this research, the effects of various irrigation water treatments were investigated. The experimental design was carried out in a randomized complete block design with three levels of irrigation I₁, I₂ and I₃ of 50, 75 and 100 percent of water requirement in three replications, respectively. Based on the results, the average values of CWSI for maize during the growth period for treatments of I₁, I₂ and I₃ were calculated to be 0.53, 0.44 and 0.28, respectively. The results showed that the CWSI index increased with decreasing water requirement. The threshold of water stress index (0.28) of I₃ treatment (no stress treatment) was the basis for irrigation scheduling. Then, some relationships were presented to determine the irrigation time of maize, using the CWSI index in Urmia climate for July, August and September as $(T_c - T_a)_c = 3.4617 - 0.1553(\text{AVPD})$, $(T_c - T_a)_c = 2.5536 - 0.0556(\text{AVPD})$ and $(T_c - T_a)_c = 7.2806 - 0.1572(\text{AVPD})$ respectively.

Keywords: Air temperature, Canopy temperature, Deficit irrigation, Infrared thermometer, Irrigation scheduling.

تعیین شاخص تنش آبی (CWSI) جهت تشخیص زمان تنش آبی محصول ذرت در منطقه ارومیه

افشین خورسند^{۱*}، وحید رضاوردی نژاد^۲، حسین عسگرزاده^۲، ابوالفضل مجنونی هریس^۴، امیر رحیمی^۵، سینا بشارت^۶، علی اشرف صدرالدینی^۷

۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران،

۲. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۳. استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۴. دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۵. استادیار، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۶. استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران.

۷. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۲۴ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۵/۲۳ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۵/۲۷)

چکیده

دماسنج مادون قرمز از ابزارهای مناسب جهت تعیین زمان آبیاری است که می‌توان از آن در مزارع یا باغ‌هایی با بافت خاک مختلف استفاده نمود. به منظور برنامه‌ریزی آبیاری ذرت دانه‌ای (SC704) در شرایط اقلیمی منطقه ارومیه با استفاده از اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا تحقیقی در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه تحت آبیاری قطره‌ای در فصل زراعی ۱۳۹۶ صورت گرفت. در این تحقیق اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. طرح آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه سطح آبیاری I₁، I₂ و I₃ به ترتیب ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی در سه تکرار اجرا گردید. بر اساس نتایج، مقادیر متوسط شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) طی دوره رشد ذرت برای تیمارهای I₁، I₂ و I₃ به ترتیب برابر ۰/۵۳، ۰/۴۴ و ۰/۲۸ محاسبه شد. نتایج نشان داد که با کاهش نیاز آبی، شاخص CWSI افزایش می‌یابد. حد آستانه شاخص تنش آبی (۰/۲۸) تیمار I₃ که بدون تنش بود اساس برنامه‌ریزی آبیاری قرار گرفت. سپس روابطی برای تعیین زمان آبیاری ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص CWSI در اقلیم ارومیه برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور به ترتیب به صورت $(T_c - T_a)_c = 3.4617 - 0.1553(AVPD)$ ، $(T_c - T_a)_c = 2.5536 - 0.0556(AVPD)$ و $(T_c - T_a)_c = 7.2806 - 0.1572(AVPD)$ ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، دمای پوشش سبز، دمای هوا، کم آبیاری، مادون قرمز.

مقدمه

بهترین زمان و مقدار آبیاری است به گونه‌ای که بهره‌وری اقتصادی آب با مقایسه دو محصول حاصل گردد (Shahrokhnia, 2015). روش‌های مختلفی (شاخص‌های گیاهی، شاخص‌های خاک و بیلان آبی) وجود دارد که بر اساس آن‌ها زارع می‌تواند زمان آبیاری را مشخص کند. در کاربرد شاخص‌های گیاهی و خاک از برخی خصوصیات مربوط به گیاه و خاک که بستگی به وضعیت آبی آن‌ها دارد استفاده می‌گردد (Alizadeh, 2006; Shackel, 2011). در حالی که روش بیلان آبی مبتنی بر حسابرسی روزانه آب در مزرعه است (Alizadeh, 2006). شاخص‌های گیاهی برای تعیین زمان آبیاری شامل شاخص رشد گیاه، شاخص پتانسیل آب برگ، شاخص مقاومت روزنه‌ای، اندازه‌گیری فشار در ساقه گیاه و شاخص دمای برگ که این دما تحت تأثیر رطوبت موجود در

ذرت گیاهی است یک‌ساله که از غلات مهم گرمسیری جهان است و از نظر تولید جهانی بعد از گندم و برنج مقام سوم را به خود اختصاص داده (Movahedi and Salehi, 2010) و به‌عنوان یکی از محصولات مهم و اساسی امنیت غذایی جهانی محسوب می‌گردد. مناسب‌ترین محیط برای کشت ذرت، ناحیه‌ای است که دمای آن به مدت سه تا چهار ماه متوالی در سال، بین ۲۱ تا ۳۲ درجه سانتی‌گراد باشد. کاشت ذرت به دلیل سازگاری با شرایط اقلیمی مختلف در تمام دنیا مرسوم است (Movahedi and Salehi, 2010)؛ لذا برنامه‌ریزی آبیاری مناسب برای ذرت ضروری می‌باشد (Saeedinia et al., 2015). برنامه‌ریزی آبیاری، به معنای کم مصرف کردن آب نیست، بلکه برنامه‌ریزی آبیاری، تعیین

برنامه‌ریزی آبیاری در گندم استفاده کردند (Alderfasi and Nielsen, 2001). کارایی شاخص CWSI در برنامه‌ریزی آبیاری هندوانه نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. در این تحقیق پنج سطح آبیاری (قطره‌ای) شامل کاهش رطوبت خاک به اندازه ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و ۲۵ و صفر درصد را در نظر گرفتند و در نهایت رابطه‌ای بین شاخص CWSI و عملکرد هندوانه ارائه دادند (Orta et al., 2003). عامل محدودکننده عملکرد محصول، تنش آبی می‌باشد که از مهم‌ترین تنش‌های گیاهی است. محققینی روی محصول سویا تحقیقی انجام داده و بیان کردند که شاخص تنش آبی گیاه را می‌توان برای تعیین زمان آبیاری سویا در آب‌وهوای مرطوب استفاده کرد، آن‌ها حد آستانه CWSI را ۰/۲۲ تعیین کردند (Candogan et al., 2013). شاخص تنش آبی گیاه برای استفاده در برنامه‌ریزی آبیاری و ارزیابی عواملی نظیر تنش آبی گیاه، هدایت و مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها، فتوسنتز، پتانسیل آب برگ و میزان تعرق توسط بسیاری از محققان داخلی و خارجی درباره درختان و گیاهان زراعی از جمله بادام (Onnabi Milani et al., 2016)، پسته (Seyfi et al., 2017)، آفتابگردان (Nouraki et al., 2017)، فلفل قرمز (Sezen et al., 2014) و ذرت (Saedinia et al., 2015; Ghorbani et al., 2015; Carroll et al., 2017; Taghvaeian et al., 2014; DeJonge et al., 2015) مورد استفاده قرار گرفته است.

با آغاز عملیات آبیاری، اختلاف دمای برگ و هوا هر روز اندازه‌گیری شده و مقادیر تجمعی آن‌ها در روزهای متوالی محاسبه می‌گردد. زمانی که این مقدار به حد بحرانی رسید باید آبیاری صورت بگیرد. حد بحرانی در مورد هر گیاه و هر نوع خاک متفاوت بوده و باید از روی تجربه به‌دقت آید. طی روزهای اندازه‌گیری دما ممکن است در برخی روزها به دلایلی دمای هوا بیشتر از دمای برگ باشد که در محاسبه اختلاف دمای تجمعی این روزها منظور نمی‌شوند (Alizadeh, 2006). در تحقیقی که روی ذرت علوفه‌ای انجام شد، معادلاتی برای سه دوره مختلف رشد محصول به‌دقت به‌دست آمد که با اندازه‌گیری دمای تر و خشک هوا و دمای پوشش سبز، مقدار کمبود فشار بخار آب هوا^۲ (AVPD) محاسبه و با استفاده از معادلات فوق‌الذکر مقدار $(T_c - T_a)_c$ محاسبه و با مقدار اندازه‌گیری شده اختلاف دمای پوشش سبز و هوا، مقایسه و زمان آبیاری مشخص گردید (Verdinejad et al., 2012). در صورتی که $(T_c - T_a)_c$ اندازه‌گیری شده از $(T_c - T_a)_c$ کمتر گردد، زمان آبیاری هنوز فراتر رسیده و برابر شدن این دو مقدار، لزوم انجام آبیاری را می‌رساند (Verdinejad et al., 2012). لازم به ذکر هست که

خاک، تغییرات هدایت روزنه‌ای و متغیرهای آب و هوایی مانند سرعت باد، تشعشعات خالص خورشیدی، رطوبت نسبی و دمای هوا می‌باشد (Idso et al., 1981; Maes and Steppe, 2012). تنش دمایی یکی از مهم‌ترین تنش‌های غیر زیستی است که در مراحل مختلف رشد گیاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک اتفاق می‌افتد (Fitzgerald et al., 2006). هنگامی که دمای پوشش سبز، یک الی چهار درجه سانتی‌گراد کمتر از دمای هوا باشد، گیاه در حال تعرق کامل بوده و فتوسنتز به‌خوبی انجام می‌گیرد، اما اگر دمای آن به میزان چهار الی شش درجه سانتی‌گراد بیشتر از دمای هوا باشد، تعرق و عوامل فتوسنتزی کاهش یافته و در دماهای بالاتر متوقف می‌گردد (Lawlor and Cornic, 2002).

از مؤثرترین روش‌های غیر تخریبی در تعیین وضعیت آبی گیاه، استفاده از دمای پوشش گیاهی است که یک شاخص قابل‌اعتماد برای سنجش تنش آبی است (Fitzgerald et al., 2006). با استفاده از این تکنیک، پارامتری کاربردی تحت عنوان شاخص تنش آبی گیاه^۱ (CWSI) محاسبه می‌شود که اولین بار در سال ۱۹۸۱ معرفی گردید (Idso et al., 1981). این شاخص بیشتر برای استفاده در مناطق خشک و نیمه‌خشک توسعه‌یافته است و در مناطق مرطوب به دلیل بالا بودن دمای پوشش سبز از دمای هوا، کارایی کمتری دارد. دامنه تغییرات CWSI بین صفر تا یک می‌باشد. صفر بدین معنی است که گیاه با تنش آبی مواجه نبوده و ایده‌آل‌ترین شرایط را از لحاظ انجام تعرق دارد، ولی عدد یک گویای حداکثر تنش آبی وارد شده بر گیاه و توقف کامل تعرق است (Idso et al., 1981).

محققین برای انتخاب برنامه آبیاری مناسب، سعی کرده‌اند روش‌هایی را به کار بگیرند که از کلیه عوامل مؤثر بر تبخیر تعرق و جذب گیاه استفاده نمود (Broomand Nasab et al., 2004). در تحقیقاتی از اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا جهت برنامه‌ریزی آبیاری گندم، جو، سورگوم، لوبیای قرمز، یونجه، سویا و کدو استفاده گردید (Idso et al., 1980; Idso et al., 1981). محققینی اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا را که به‌وسیله دماسنج مادون‌قرمز اندازه‌گیری شده بود، به‌عنوان شاخصی از وضعیت آبی گیاه به کار بردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند زمانی که گیاه (کدو، یونجه و سویا) بدون کمبود آب و تحت تنش آبی باشد، اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا به ترتیب منفی و مثبت می‌گردد (Idso et al., 1981).

در تحقیقی دمای پوشش سبز گیاه را جهت ارزیابی شاخص تنش رطوبتی در تعیین وضعیت آبی محصول گندم و هم‌چنین

حاضر از شاخص CWSI جهت برنامه‌ریزی آبیاری محصول ذرت دانه‌ای (رقم سینگل کراس ۷۰۴) در منطقه ارومیه استفاده گردید. اهداف تحقیق حاضر عبارت‌اند از ۱- توسعه معادلات خطوط مبنای بالا و پایین برای محاسبه شاخص CWSI، ۲- ارزیابی و تعیین تغییرات شاخص CWSI تحت رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای رو سطحی برای ذرت دانه‌ای در منطقه ارومیه.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در سال ۱۳۹۶ روی محصول ذرت دانه‌ای صورت گرفت. این مکان از نظر موقعیت جغرافیایی در ۳۷ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی، ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه طول شرقی و ارتفاع ۱۳۶۵ متر از سطح دریا واقع شده است. جزئیات کاشت، مراحل مهم رشد و هم‌چنین سایر عملیات در جدول (۱) ارائه شده است. این مزرعه یک‌بار در پاییز سال ۱۳۹۵ و یک‌بار در بهار سال ۱۳۹۶ شخم زده شد. عملیات دیسک زدن برای خرد کردن کلوخه‌ها و آماده‌سازی بستر بذر در بهار سال ۱۳۹۶ دو بار و سپس عملیات کرت بندی انجام گرفت. ابعاد کرت‌ها چهار در سه (متر در متر) و فاصله کرت‌ها از همدیگر دو متر در نظر گرفته شد. در مرحله بعد ردیف‌هایی به فواصل ۷۵ سانتی‌متر و فواصل بذر روی ردیف ۲۰ سانتی‌متر، ایجاد گردید.

($T_c - T_a$) اندازه‌گیری شده می‌بایست در شرایط حداکثر تنش روزانه بین ساعت ۱۱ الی ۱۴ انجام گیرد (Ghorbani *et al.*, 2015). مناسب‌ترین زمان برای اندازه‌گیری دمای پوشش سبز هنگامی است که یک تا یک و نیم ساعت از ظهر خورشیدی گذشته باشد (Onnabi Milani *et al.*, 2016). بیشترین دمای پوشش سبز در ذرت، دو ساعت بعد از ظهر اتفاق می‌افتد (Taghvaeian *et al.*, 2014). نتایج تحقیقی نشان داد که حداکثر تنش روزانه در ذرت در ساعات بین یک و نیم تا سه بعد از ظهر رخ می‌دهد (Mangus *et al.*, 2016).

شاخص‌های گیاهی در مناطق مختلف کشور و برای محصولات مختلف جهت ارزیابی CWSI، باید آزمایش گردند (Seyfi *et al.*, 2017). ایران یکی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان می‌باشد که با محدودیت منابع آب روبرو است. یکی از استراتژی‌ها در زمینه استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی، برنامه‌ریزی آبیاری (برای محصولات زراعی و باغی) به منظور حداکثر سازی مزایای استفاده از آب، حیاتی است (Seyfi *et al.*, 2017). موضوع مدیریت و برنامه‌ریزی آبیاری اهمیت دارد و در صورت استفاده صحیح از روش‌ها و ابزارهای برنامه‌ریزی آبیاری، می‌توان به افزایش قابل توجهی در بهره‌وری مصرف آب رسید (Shahrokhnia *et al.*, 2015). در کشور ایران تحقیقات کمی در ارتباط با برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری درختان و گیاهان زراعی با استفاده از شاخص CWSI صورت گرفته است. در تحقیق

جدول ۱- تاریخ و جزئیات کاشت محصول برای مزرعه آزمایشی

ذرت دانه‌ای	سال آزمایش ۱۳۹۶	توضیحات
تعداد بوته در هکتار (plants/ha)	۶۶۶۶۶	-
تاریخ کاشت	۲۵ اردیبهشت	بذرها در سینی کاشته شد.
تاریخ جوانه‌زنی اولیه	۲ خرداد	-
تاریخ ۴۰ درصد جوانه‌زنی	۶ خرداد	-
تاریخ انتقال نشاء	۲۱ خرداد	بعد از جوانه‌زنی کامل، انتقال صورت گرفت.
تاریخ شروع پیری	۷ شهریور	-
تاریخ برداشت	۱۱ مهر	-
تاریخ اولین مبارزه با علف‌های هرز	۴ و ۵ خرداد	چندین بار طی دوره رشد
تاریخ کود ماکرو کامل (kg)	۷ خرداد (۵/۰)*	یک‌بار قبل از انتقال نشاء
تاریخ کود اوره (kg)	۳۱ خرداد (۱/۴۰)	دو بار طی دوره رشد
تاریخ کود مایع (g)	۱۴ تیر (۳۶/۰)	به صورت مخلوط با ۱۸ لیتر آب
تاریخ کود آمینواسید (g)	۲۸ تیر (۳۶/۰)	به صورت مخلوط با ۱۸ لیتر آب
تاریخ اعمال تنش آبی	۱۴ تیر	از آبیاری هفتم به بعد

* اعداد داخل پرانتز مقادیر کود است.

طرح آزمایشی

(Raes, 2009). با ضرب مقدار ET_0 در ضریب گیاهی (Kc) ذرت گرفت. طرح آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی^۱ (RCBD) با سه تیمار آبی بر روی ذرت دانه‌ای در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها عبارت‌اند از ۱- آب آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی (I_1)، ۲- آب آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی (I_2) و ۳- آب آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_3). برای تعیین نیاز آبی، پارامترهای هواشناسی از ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه به دست آمد و سپس با استفاده از نرم‌افزار ET_0 V3.1 Calculator مقدار تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) محاسبه گردید

در این تحقیق اثر تیمارهای مختلف آب آبیاری مورد بررسی قرار گرفت. طرح آزمایشی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی^۱ (RCBD) با سه تیمار آبی بر روی ذرت دانه‌ای در سه تکرار اجرا گردید. تیمارها عبارت‌اند از ۱- آب آبیاری با ۵۰ درصد نیاز آبی (I_1)، ۲- آب آبیاری با ۷۵ درصد نیاز آبی (I_2) و ۳- آب آبیاری با ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_3). برای تعیین نیاز آبی، پارامترهای هواشناسی از ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه به دست آمد و سپس با استفاده از نرم‌افزار ET_0 V3.1 Calculator مقدار تبخیر-تعرق مرجع (ET_0) محاسبه گردید

جدول ۲- مقادیر آبیاری و تبخیر تعرق مرجع (میلی‌متر) طی دوره رشد محصول ذرت

ET_0	کم آبیاری			تیمار
	I_3	I_2	I_1	
۶۱۵/۷۰	۶۳۵/۵۵	۴۷۶/۶۶	۳۱۷/۷۸	مجموع

کردند (Sezen *et al.*, 2014).

روش آبیاری

داده‌های هواشناسی آب‌وهوای منطقه ارومیه در تابستان گرم و خشک و در زمستان سرد و خشک می‌باشد. دوره بارندگی از اواخر مهر شروع و تا خردادماه ادامه می‌یابد. پارامترهای هواشناسی منطقه در طول مدت اجرای طرح از ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه که نزدیک‌ترین ایستگاه به محل انجام طرح بود به دست آمدند (جدول ۳). هم‌چنین برای به دست آوردن داده‌های دمای هوا و رطوبت نسبی در بازه‌های زمانی ۱۰ دقیقه از دستگاه هواشناسی واچ‌داگ^۴ که در مزرعه نصب شده بود، استفاده گردید.

در طول فصل رشد، آبیاری با استفاده از لوله آبیاری قطره‌ای ۱۶ میلی‌متر خروجی‌دار که در کنار هر ردیف ذرت قرار گرفته بود (Sezen *et al.*, 2014)، اعمال شد. در تحقیق حاضر، لوله‌های ۱۶ میلی‌متر دارای فشار ثابت^۲ و ضخامت ۱/۱۵ میلی‌متر بودند. هم‌چنین فواصل قطره‌چکان‌های درون خط^۳ ۲۰ سانتی‌متر و آبدهی قطره‌چکان‌ها ۴ لیتر بر ساعت بود. برای کنترل تنش با استفاده از زمان، در ابتدای هر لوله ۱۶ میلی‌متر از شیر ۱۶ در ۱۶ میلی‌متر استفاده گردید. آبیاری‌ها هر سه یا چهار روز در طول دوره رشد صورت گرفت. هم‌چنین کودها جهت جلوگیری از کمبود مواد غذایی برای همه تیمارها استفاده گردید (DeJonge *et al.*, 2015) و همه تیمارها به مقدار مساوی کودها را دریافت

جدول ۳- پارامترهای هواشناسی طی دوره رشد محصول ذرت در سال ۱۳۹۶

پارامتر	ماه					
	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت
متوسط دمای هوا (°C)	۱۵/۷	۲۴/۹	۲۷/۶	۲۶/۳	۲۲/۳	۱۶/۹
متوسط حداکثر دما (°C)	۲۲/۳	۳۲/۴	۳۴/۶	۳۳/۴	۲۹/۷	۲۲/۷
متوسط حداقل دما (°C)	۹/۱	۱۷/۳	۲۰/۶	۱۹/۳	۱۴/۹	۱۱/۱
متوسط رطوبت نسبی (%)	۵۲	۴۱	۳۹	۳۹	۳۹	۵۱
متوسط سرعت باد ($m s^{-1}$)	۴	۴	۳	۴	۶	۶
مجموع بارش (mm)	۲/۱	۰	۲/۲	۰	۱/۸	۱۹/۹
بارش مؤثر (mm)	۲/۰۹	۰	۲/۱۹	۰	۱/۷۹	۱۹/۲۶
مجموع ساعات آفتابی ($Hrs d^{-1}$)	۲۷۳/۴	۳۰۶/۹	۳۴۸/۸	۳۵۰/۴	۳۶۰/۲	۲۷۳/۲

شاخص تنش آبی گیاه

(معادله ۱) گردد، در این صورت مقدار تعرق کاملاً متوقف می‌شود (Idso *et al.*, 1981). شاخص تنش آبی گیاه در مقدار معینی از کمبود فشار بخار آب، عبارت است از نسبت بین تفاوت دمای پوشش سبز گیاه و هوای اندازه‌گیری شده از خط مبنای پایینی به کل تفاوت ممکن به ازای همان مقدار کمبود فشار بخار آب. طبق این تعریف تغییرات شاخص تنش آبی گیاه بین صفر الی یک است (Idso *et al.*, 1981).

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_m - dT_{LL}}{dT_{UL} - dT_{LL}} \quad (\text{رابطه ۶})$$

که در آن $(T_c - T_a)_m$ اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا (قبل آبیاری) در زمان اندازه‌گیری برحسب درجه سانتی‌گراد، dT_{LL} اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا (بعد آبیاری) که از معادله خط مبنای پایینی برای (AVPD) اندازه‌گیری شده به دست می‌آید، dT_{UL} عددی ثابت برای خط مبنای بالایی (بعد آبیاری) می‌باشد. در استخراج روابط فرض بر این بود که غیر از تنش آبی، گیاه متحمل تنش محیطی دیگری نشده است.

اندازه‌گیری دمای پوشش سبز

در این تحقیق دستگاه مادون قرمز^۴ دستی جهت اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه به کار رفت. با توجه به اینکه حداکثر تنش در یکی دو ساعت بعد از ظهر خورشیدی اتفاق می‌افتد، اندازه‌گیری‌ها در ساعت ۱۳ الی ۱۴ انجام می‌گیرد که بهترین زمان برای اندازه‌گیری دمای برگ است. البته لازم به ذکر هست که برای به دست آوردن معادلات خط مبنای بالا و پایین با استفاده از روش‌های تجربی و تئوری باید روزانه تقریباً چهار الی پنج بار به صورت ساعتی دمای پوشش سبز اندازه‌گیری گردد (Idso *et al.*, 1981).

در تحقیق حاضر از زمان کاشت تا ۱۹ تیر به علت کوچک بودن گیاه و میدان اندازه‌گیری دستگاه تأثیر دمای سطح خاک در اندازه‌گیری دمای پوشش سبز، اندازه‌گیری دمای برگ صورت نگرفت (Saedinia *et al.*, 2015). اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه زمانی که آسمان صاف و بدون ابر بود (Sezen *et al.*, 2014; Seyfi *et al.*, 2017) برای دو روز (قبل و بعد آبیاری) از چهار جهت جغرافیایی برای هر تیمار با سه تکرار صورت گرفت. اندازه‌گیری‌ها از برگ‌های مختلف صورت گرفت چون احتمال این بود که برگ‌های مختلف گیاه، دماهای مختلفی داشته باشند. لذا از میانگین‌گیری این مقادیر (۱۲ قرائت برای هر تیمار)، متوسط دمای پوشش سبز گیاه به دست آمد (Verdinejad *et al.*, 2012).

شاخص تنش آبی گیاه از شاخص‌هایی است که وضعیت آب در گیاه را بر اساس اختلاف دمای پوشش سبز و هوا بیان می‌کند که از دو دیدگاه بررسی می‌شود. یکی از دیدگاه ایدسو که یک نظریه تجربی و با توجه به تحقیقات مزرعه‌ای و آنالیز اطلاعات حاصل از آن‌ها می‌باشد و دیگری از دیدگاه جکسون که با در نظر گرفتن معادلات بیلان انرژی، شاخص تنش آبی گیاه را بررسی کرده است (Idso *et al.*, 1981). برای بررسی و تشریح شاخص تنش آبی گیاه رابطه‌ای بر اساس دو پارامتر اختلاف دمای پوشش سبز و هوا و AVPD به صورت زیر ارائه گردید (Idso *et al.*, 1981):

$$(T_c - T_a)_{LL} = a - b(AVPD) \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$(\text{رابطه ۲})$$

$$AVPD = 10 \times \exp \left[\frac{16.78T_a - 116.9}{T_a + 237.3} \right] \times \left(1 - \frac{RH}{100} \right)$$

که در آن T_c و T_a دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا برحسب درجه سانتی‌گراد، AVPD کمبود فشار بخار هوا یا کمبود اشباع برحسب میلی بار، RH رطوبت نسبی برحسب درصد، a و b ضرایب ثابتی هستند که برای گیاهان مختلف متفاوت است. خطی که مطابق معادله (۱) به دست می‌آید تحت عنوان خط مبنای پایین^۱ یا خط مبنای بدون تنش^۲ (NWSB) نامیده می‌شود. خط مبنای بالا^۳ یا خط تنش کامل^۴ (NTB) معرف حداکثر مقداری است که می‌توان برای اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا انتظار داشت که بیان‌کننده توقف کامل عمل تعرق گیاه و مستقل از کمبود فشار بخار هوا است. موقعیت خط مبنای بالا با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید (Idso *et al.*, 1981):

$$(T_c - T_a)_{UL} = a + b(AVPG) \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$AVPG = e_s(T_a + a) - e_s(T_a) \quad (\text{رابطه ۴})$$

$$(\text{رابطه ۵})$$

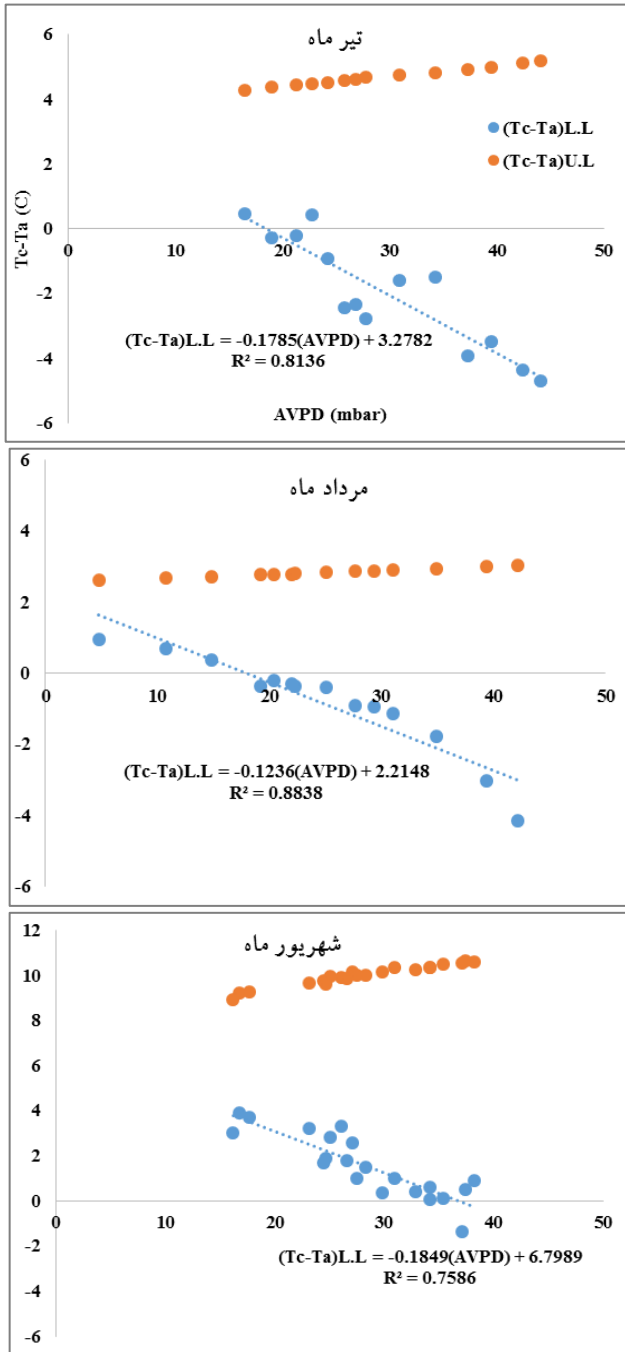
$$e_s(T_a) = \left(0.6108 \times \exp \left(\frac{17.27 \times T_a}{237.3 + T_a} \right) \right) \times \left(\frac{1000}{101} \right)$$

که در آن AVPG شیب فشار بخار هوا^۵ برحسب میلی بار، ضرایب a و b از خط مبنای پایین (معادله ۱) به دست می‌آیند. با توجه به معادله (۳)، وقتی که هوا از بخار آب اشباع باشد تعرق کم می‌شود ولی متوقف نمی‌شود بلکه به دلیل شیب فشار بخار بین پوشش گیاهی و هوا، عمل تعرق ادامه خواهد داشت. لذا زمانی که مقدار $(T_c - T_a)$ بیشتر از مقدار عرض از مبدأ (a) خط مبنای پایین

4. Non-transpiring baseline
5. Air vapor pressure gradient
6. Infrared Thermometer

1. Lower base line
2. Non-water-stressed baseline
3. Upper base line

موقعیت خط مبنای بالا (تنش کامل) به نوع گیاه و شرایط آب و هوایی هر منطقه بستگی دارد (Verdinejad *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2016)



شکل ۱- نمودار خطوط مبنای پایین و بالا برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور با روش آبیاری قطره‌ای سطحی

برای محاسبه خط مبنای پایین (معادله ۱)، دمای محصول ذرت در روزهای بعد از آبیاری برای تیمار شاهد (I_3) به صورت ساعتی از ۸:۵۰ صبح تا ۱۴:۵۰ بعد از ظهر اندازه‌گیری شد. همچنین برای تعیین شاخص CWSI (معادله ۶) و محاسبه $(T_c - T_a)_m$ ، دمای محصول ذرت در روزهای قبل از آبیاری برای هر سه تیمار به صورت ساعتی از ۱۱:۵۰ تا ۱۴:۵۰ اندازه‌گیری گردید.

نتایج و بحث

خطوط مبنای پایین و بالا به روش ایدسو

با استفاده از روش ایدسو به منظور به دست آوردن معادله خط مبنای پایین در روزهای مختلف (ماه‌های تیر، مرداد و شهریور) بعد آبیاری، مقادیر اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا $(T_c - T_a)$ در مقابل کمبود فشار بخار هوا (AVPD) ترسیم گردید (شکل ۱) و روابط رگرسیونی برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور استخراج گردید (جدول ۴). بررسی این روابط رگرسیونی نشان می‌دهد که برای هر سه ماه، ضرایب a (عرض از مبدأ) و b (ضریب زاویه) دارای مقادیر متفاوتی اند و شیب خط برای هر سه ماه منفی به دست آمد. مقادیر متفاوت این ضرایب نشانگر تفاوت پتانسیل جذب آب و میزان تعرق در طول دوره رشد محصول می‌باشد (Ahmadi *et al.*, 2017). خط مبنای پایین یا خط بدون تنش معرف شرایطی است که در آن، محصول از نظر تأمین آب با هیچ محدودیتی روبرو نباشد (Mohammadi *et al.*, 2016). همچنین با استفاده از روش ایدسو، مقادیر خط مبنای بالا برای ذرت دانه‌ای در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور به ترتیب ۴/۶۹، ۲/۸۳ و ۱۰/۰۱ درجه سانتی‌گراد به دست آمد که نشانگر متفاوت بودن مقدار خط مبنای بالا برای هر ماه است (جدول ۴). در تحقیقی برای ذرت بهار در شمال خوزستان مقادیر خط مبنای بالا برای دو ماه اردیبهشت و خرداد به ترتیب ۲ و ۴/۵ درجه سانتی‌گراد به دست آمد (Taheri Ghanad, 2008). در تحقیقات دیگری خط مبنای بالا برای ذرت در منطقه کرج ۳/۲ درجه سانتی‌گراد و در شرایط آب و هوایی اهواز برای ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد به ترتیب ۴/۳۴، ۶/۱۰ و ۴/۶۴ درجه سانتی‌گراد به دست آمد (Verdinejad *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2016). با توجه به نتایج تحقیقات پیشین و تحقیق حاضر مشخص می‌گردد که

جدول ۴- معادلات مربوط به خطوط مبنای پایین و بالا به روش ایدسو

ماه	خط مبنای پایین	خط مبنای بالا	R ²	p-value
تیر	$(T_c - T_a)_{LL} = -0.1785(AVPD) + 3.2782$	$(T_c - T_a)_{UL} = 4.69$	0.81	<0.001
مرداد	$(T_c - T_a)_{LL} = -0.1236(AVPD) + 2.2148$	$(T_c - T_a)_{UL} = 2.83$	0.88	<0.001
شهریور	$(T_c - T_a)_{LL} = -0.1849(AVPD) + 6.7989$	$(T_c - T_a)_{UL} = 10.01$	0.75	<0.001

داده‌های دمای پوشش سبز ذرت دانه‌ای در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۲ (بعد آبیاری) برای تیمار شاهد در جدول‌های (۵ و ۶) ارائه گردید. همچنین رابطه رگرسیونی بین $(T_c - T_a)$ در مقابل AVPD برای تعیین خطوط مبنای پایین و بالا در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۲ رسم شد که نمودار آن در شکل (۲) قابل مشاهده است. با توجه به این شکل، با افزایش کمبود فشار بخار هوا (AVPD)، اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا $(T_c - T_a)$ نیز افزایش (از نظر قدر مطلق) می‌یابد. افزایش کمبود فشار بخار هوا همراه با افزایش تبخیر و تعرق بوده و اگر نیاز آبی محصول تأمین گردد گیاه خنک نگه‌داشته می‌شود (Saeedinia et al., 2015). مقادیر a ، b و مقدار خط مبنای بالا در این شکل به ترتیب $۵/۴۱۷۹$ ، $۰/۲۸۸$ و $۸/۸۵$ به دست آمد.

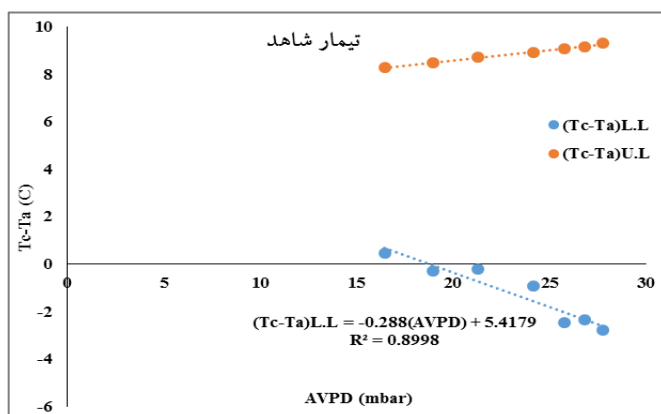
در تحقیقی به این نکته اشاره گردید که خطوط مبنای پایین و بالا برای ماه‌های مختلف طی دوره رشد محصول به صورت جداگانه ارائه گردد (Ghorbani et al., 2015). اختصاصی بودن این خطوط برای هر محصول بیانگر این است که هنگام تعرق حداکثر، هر یک از محصولات به‌اندازه معینی در مقابل تغییرات محیطی (تنش‌ها و پارامترهای هواشناسی) از خود عکس‌العمل نشان می‌دهند که مقادیر تعرق در محصولات، متفاوت است (Ahmadi et al., 2017). لذا لازم است موقعیت این خطوط برای محصولات مختلف طی دوره رشد محصول، بر اساس نوع سیستم آبیاری و شرایط مدیریتی مشخص گردد تا بتوان برنامه‌ریزی آبیاری دقیق‌تری را انجام داد. به علت بالا بودن تعداد داده‌های برداشت‌شده در مزرعه، نمونه محاسبات خطوط مبنای پایین و بالا برای قسمتی از

جدول ۵- محاسبات مربوط به اندازه‌گیری خط مبنای پایین (بدون تنش) برای تیمار شاهد در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۲

ساعات اندازه‌گیری	۸:۵۰	۹:۵۰	۱۰:۵۰	۱۱:۵۰	۱۲:۵۰	۱۳:۵۰	۱۴:۵۰
T_c (°C)	۲۲/۳۶	۲۳/۰۲	۲۴/۴۸	۲۴/۷۹	۲۴/۷۷	۲۴/۱۶	۲۵/۲۱
T_a (°C)	۲۱/۸	۲۳/۳	۲۴/۷	۲۵/۷	۲۷/۱	۲۶/۶	۲۸
$T_c - T_a$ (°C)	۰/۴۶	-۰/۲۸	-۰/۲۲	-۰/۹۱	-۲/۳۳	-۲/۴۴	-۲/۷۹
RH (%)	۳۷	۳۳/۸	۳۱/۶	۲۶/۸	۲۵/۳	۲۶/۱	۲۶/۶
(mbar)	۱۶/۴۶	۱۸/۹۵	۲۱/۲۹	۲۴/۱۹	۲۶/۸۱	۲۵/۷۵	۲۷/۷۶
AVPD							

جدول ۶- محاسبات مربوط به اندازه‌گیری خط مبنای بالا (تنش کامل) برای تیمار شاهد در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۲

ساعات اندازه‌گیری	۸:۵۰	۹:۵۰	۱۰:۵۰	۱۱:۵۰	۱۲:۵۰	۱۳:۵۰	۱۴:۵۰
T_a (°C)	۲۱/۸	۲۳/۳	۲۴/۷	۲۵/۷	۲۷/۱	۲۶/۶	۲۸
$T_a + a$ (°C)	۲۷/۲۲	۲۸/۷۲	۳۰/۱۲	۳۱/۱۲	۳۲/۵۲	۳۲/۰۲	۳۳/۴۲
$e_s(T_a)$ (mbar)	۲۵/۸۶	۲۸/۳۲	۳۰/۸۱	۳۲/۶۹	۳۵/۵۱	۳۴/۴۸	۳۷/۴۳
$e_s(T_a + a)$ (mbar)	۳۵/۷۵	۳۹/۰۲	۴۲/۲۹	۴۴/۷۸	۴۸/۴۷	۴۷/۱۲	۵۰/۹۸
AVPG (mbar)	۹/۸۹	۱۰/۶۹	۱۱/۴۹	۱۲/۰۸	۱۲/۹۶	۱۲/۶۴	۱۳/۵۶
$(T_c - T_a)_{UL}$ (°C)	۸/۲۷	۸/۵۰	۸/۷۳	۸/۹۰	۹/۱۵	۹/۰۶	۹/۳۲



شکل ۲- نمودار خطوط مبنای پایین و بالا برای تیمار شاهد در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۲

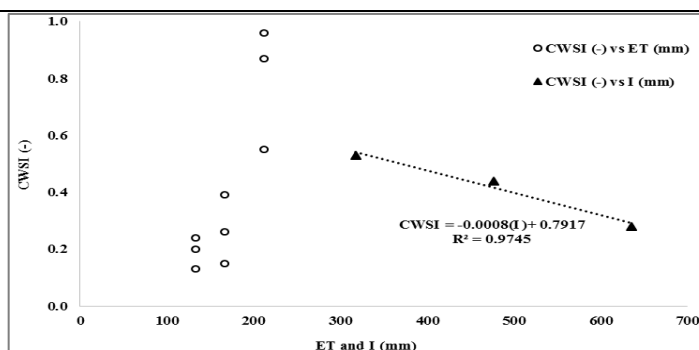
شاهد ۰/۲۸ به دست آمد تحت آبیاری قطره‌ای سطحی (خروجی‌دار با فشار ثابت) بوده است.

هم‌چنین با توجه به جدول (۷)، حداکثر و حداقل تبخیر-تعرق به ترتیب در مرداد و تیرماه اتفاق افتاده و به تبع آن حداکثر و حداقل مقدار شاخص CWSI در هر سه تیمار در مرداد و تیرماه به دست آمد. به‌طور کلی رابطه بین شاخص CWSI و تبخیر-تعرق، مستقیم می‌باشد. یعنی هر چقدر مقدار تبخیر-تعرق بیشتر باشد، مقدار این شاخص به عدد یک نزدیک‌تر و هر چقدر مقدار تبخیر-تعرق کمتر باشد، مقدار شاخص CWSI به صفر نزدیک‌تر است (شکل ۳). رابطه بین شاخص CWSI و عمق کل آبیاری (I) از رسم متوسط شاخص CWSI و مقدار کل آب‌داده شده برای هر تیمار در طول دوره رشد محصول به دست آمد. رابطه رگرسیونی بین شاخص تنش آبی و عمق آبیاری $CWSI = -0.0008(I) + 0.7917$ با ضریب تبیین ۰/۹۷ تعیین گردید (شکل ۳). با توجه به شکل (۳)، هرچقدر مقدار آب با اعمال تنش در طول دوره رشد محصول کاهش پیدا کرده، مقدار شاخص تنش آبی افزایش یافته است. به عبارتی بهتر، گیاه در اثر آبیاری کمتر برای مقابله با کم‌آبی، روزنه‌های خود را بسته (میزان تعرق کاهش پیدا می‌کند) و دمای برگ گیاه افزایش پیدا کرده و در نتیجه CWSI افزایش یافته است. با توجه به اینکه شرایط اقلیمی برای تیمارها یکسان بوده، افزایش دمای برگ تنها عاملی است که باعث افزایش CWSI شده است (Ahmadi et al., 2017; Mohammadi et al., 2016).

ارتباط شاخص CWSI با تبخیر-تعرق (ET) و عمق کل آبیاری (I) با معلوم شدن معادلات خطوط مبنای پایین و بالا برای سه ماه تیر، مرداد و شهریور (جدول ۴) و هم‌چنین محاسبه میانگین اختلاف دمای پوشش سبز و هوا در روزهای قبل از آبیاری، مقادیر CWSI با استفاده از معادله ۶ برای هر سه تیمار محاسبه گردید (جدول ۷). با توجه به جدول (۷)، مقدار CWSI برای تیمار شاهد (I₃) در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور به ترتیب ۰/۱۳، ۰/۵۵ و ۰/۱۵ و هم‌چنین مقادیر متوسط CWSI طی دوره رشد ذرت برای سه تیمار ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۰/۵۳، ۰/۴۴ و ۰/۲۸ به دست آمد. حداکثر شاخص تنش آبی برای هر سه تیمار در مردادماه اتفاق افتاده و بیشترین مقدار شاخص تنش آبی مربوط به تیمار کم آبیاری شدید (I₁) می‌باشد. در تحقیقات پیشین مقدار شاخص CWSI برای ذرت تحت تیماری که بدون تنش بوده در مناطق آمریکا، شمال خوزستان، کرج و اهواز به ترتیب ۰/۲۳، ۰/۲۱، ۰/۴۶ و ۰/۲۵ به دست آمد (Idso et al., 1981; Taheri Ghanad, 2008; Verdinejad et al., 2012; Mohammadi et al., 2016) که دلیل تفاوت در مقادیر این شاخص را می‌توان به تغییرات آب و هوایی ربط داد. در تحقیق دیگری که در اهواز صورت گرفت مقدار متوسط شاخص CWSI برای ذرت تحت آبیاری سطحی (جوچه‌ای) و بارانی (کلاسیک ثابت با آبپاش متحرک) به ترتیب ۰/۱۴ و ۰/۱۶ محاسبه گردید (Ghorbani et al., 2015). نتیجه این تحقیق نشان داد که نوع سیستم آبیاری هم در مقدار این شاخص تأثیرگذار است. لازم به ذکر است در تحقیق حاضر که متوسط این شاخص برای تیمار

جدول ۷- مقادیر شاخص CWSI و تبخیر-تعرق بدون احتساب راندمان در طول دوره رشد محصول ذرت دانه‌ای

ماه	تیمار ۵۰٪ (I ₁)	تیمار ۷۵٪ (I ₂)	تیمار ۱۰۰٪ (I ₃)	ET (mm)
خرداد	-	-	-	۳۸/۴۵
تیر	۰/۲۴	۰/۲۰	۰/۱۳	۱۳۲/۸۴
مرداد	۰/۹۶	۰/۸۷	۰/۵۵	۲۱۱/۶۶
شهریور	۰/۳۹	۰/۲۶	۰/۱۵	۱۶۶/۵۷
مهر	-	-	-	۲۲/۴۷
متوسط	۰/۵۳	۰/۴۴	۰/۲۸	-



شکل ۳- رابطه بین تغییرات شاخص تنش آبی (CWSI) با تبخیر-تعرق هر ماه و عمق کل آبیاری (I) برای هر سه تیمار

برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از CWSI

یکی از کاربردهای شاخص CWSI، برنامه‌ریزی آبیاری محصولات است (Ahmadi *et al.*, 2017). با توجه به اینکه کمترین مقدار شاخص CWSI (۰/۲۸) در تیمار شاهد (بدون تنش) اتفاق افتاد لذا این تیمار اساس برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس روش ایدسو برای گیاه ذرت دانه‌ای (SC704) در منطقه ارومیه قرار گرفت. مقدار شاخص CWSI با استفاده از این روش و با استفاده از معادله ۶ در جدول (۷) ارائه گردیده است. لذا با توجه به مقادیر این شاخص و معادله ۷، روابط موردنیاز جهت برنامه‌ریزی آبیاری ذرت دانه‌ای برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور استخراج گردید (جدول ۸). (رابطه ۷)

$$CWSI_i = \frac{(T_c - T_a)_c - [a - b(AVPD)]}{(T_c - T_a)_{U.L} - [a - b(AVPD)]}$$

پارامترهای معادله ۷ قبلاً در بخش مواد و روش تشریح گردیده است. برای تشخیص زمان فرارسیدن آبیاری (قبل از وارد شدن تنش به گیاه)، باید مقادیر کمبود فشار بخار اشیاع هوا را در ساعات ۱۱:۵۰ تا ۱۴:۵۰ اندازه‌گیری کرد و با جایگذاری در روابط استخراجی برای هرماه (جدول ۹)، مقدار $(T_c - T_a)_c$ مجاز محاسبه گردد. سپس مقدار $(T_c - T_a)_m$ در شرایط حداکثر تنش (ساعات ۱۱:۵۰ تا ۱۴:۵۰) با استفاده از مادون قرمز دستی، قابل

اندازه‌گیری و محاسبه است. با مقایسه $(T_c - T_a)_m$ (اندازه‌گیری-شده) و $(T_c - T_a)_c$ (مجاز محاسبه‌شده) می‌توان زمان آبیاری را تعیین کرد. اگر متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده از مقدار مجاز محاسبه‌شده کمتر باشد، هنوز زمان آبیاری فرا نرسیده است ولی اگر از مقدار مجاز محاسبه‌شده بزرگ‌تر باشد، یعنی زمان آبیاری گذشته است. هم‌چنین مقدار برابر بین $(T_c - T_a)_m$ و $(T_c - T_a)_c$ نشانگر انجام آبیاری در آن زمان است (Ahmadi *et al.*, 2017; Taheri Ghanad, 2008; Verdinejad *et al.*, 2012). در تحقیقی که در منطقه کرج روی ذرت علوفه‌ای بود، جهت برنامه‌ریزی آبیاری معادلاتی برای سه دوره مختلف رشد محصول (ظهور کاکل‌ها، کامل شدن تاج گل و مرحله خمیری) به صورت

$$(T_c - T_a)_c = -0.0619(AVPD) + 2.68$$

$$(T_c - T_a)_c = -0.1093(AVPD) + 2.17$$

$$(T_c - T_a)_c = -0.0949(AVPD) + 2.31 \text{ و}$$

به دست آمد (Verdinejad *et al.*, 2012). هم‌چنین در تحقیقی دیگر، برنامه‌ریزی آبیاری ذرت در شرایط اقلیمی اهواز برای تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی در ماه‌های فروردین، اردیبهشت و خرداد به ترتیب

$$(T_c - T_a)_c = -0.14(AVPD) + 3.47$$

$$(T_c - T_a)_c = -0.12(AVPD) + 4.88$$

$$(T_c - T_a)_c = -0.08(AVPD) + 3.77 \text{ و}$$

محاسبه گردید (Mohammadi *et al.*, 2016).

جدول ۸- روابط مورد استفاده برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت دانه‌ای (SC704)

ماه	مراحل رشد	روابط برنامه‌ریزی
تیر	دوره رویشی-گل‌آغازی	$(T_c - T_a)_c = 3/4617 - 0/1553(AVPD)$
مرداد	گلدهی-تلقیح	$(T_c - T_a)_c = 2/5536 - 0/0556(AVPD)$
شهریور	دانه بستن-پرشدن دانه	$(T_c - T_a)_c = 7/2806 - 0/1572(AVPD)$

نتیجه‌گیری کلی

روش‌های برنامه‌ریزی آبیاری به‌طور کلی بر اساس پارامترهای هواشناسی و رطوبت خاک برای مدل‌سازی یا محاسبه تبخیر-تعرق هست. برنامه‌ریزی آبیاری در تحقیق حاضر با استفاده از دستگاه مادون‌قرمز دستی در منطقه ارومیه برای ذرت دانه‌ای (سینگل کراس ۷۰۴) تحت رژیم‌های مختلف آبیاری با روش آبیاری قطره‌ای سطحی صورت گرفت. برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت از روش تجربی ایدسو استفاده گردید. معادلات خطوط مبنای پایین و بالا و هم‌چنین شاخص تنش آبی (CWSI) برای سه تیمار ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_3 و I_2 ، I_1) طی دوره رشد محصول با روش ایدسو محاسبه گردید. با استفاده از خطوط

مبنای استخراج شده برای هر تیمار، مقادیر متوسط CWSI در طول فصل رشد ذرت برای تیمارهای I_1 ، I_2 و I_3 به ترتیب ۰/۵۳، ۰/۴۴ و ۰/۲۸ محاسبه گردید. سپس روابطی برای تعیین زمان آبیاری ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص CWSI در اقلیم ارومیه برای ماه‌های تیر، مرداد و شهریور به ترتیب

$$(T_c - T_a)_c = 3.4617 - 0.1553(AVPD)$$

و

$$(T_c - T_a)_c = 2.5536 - 0.0556(AVPD)$$

ارائه گردید.

$$(T_c - T_a)_c = 7.2806 - 0.1572(AVPD)$$

از محدودیت‌های روش مادون‌قرمز برای برنامه‌ریزی آبیاری محصولات زراعی و باغی این است که برای هر محصول نیاز به خطوط مبنای پایین و بالا می‌باشد که باید از نتایج تحقیقات

زراعی تعیین گردد و میزان عمق آبیاری با یک کنتور حجمی برای زمان خاتمه آبیاری استفاده شود (Taheri Ghanad, 2008). با توجه به کاربردی بودن شاخص تنش آبی گیاه پیشنهاد می‌گردد دقت این شاخص علاوه بر روش تجربی ایدسو، با روش تئوری جکسون (بیلان انرژی) و فنون سنجش‌ازدور (تصاویر Landsat 8 و Sentinel 2) ارزیابی و مقایسه گردد.

REFERENCES

Ahmadi, H., Nasrolahi, A. H., Sharifipoor, M. and Eisavand, H. R. (2017). Soybean irrigation scheduling using the temperature difference between the air and canopy cover. *Journal of Water and Irrigation Management*, 7(1), 121-133. (In Farsi)

Alderfasi, A. A. and Nielsen, D. C. (2001). Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. *Journal of Agricultural Water Management*, 47, 69-75.

Alizadeh, A. (2006). *Designing Irrigation Systems*. Imam Reza University Press: Mashhad. (In Farsi)

Broomand Nasab, S., Taheri Ghanad, S. and Moeiri, M. (2004). Application of canopy cover temperature for spring maize irrigation scheduling in Khuzestan conditions. *Agricultural Science Journal*, 27, 47-56. (In Farsi)

Candogan, B. K., Shncik, M., Buyukcangaz, H. and Demirtas, C. (2013). Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] in sub-humid climatic conditions. *Journal of Agricultural Water Management*, 118, 113– 121.

Carroll, D. A., Hansen, N. C., Hopkins, B. G. and DeJonge, K. C. (2017). Leaf temperature of maize and Crop Water Stress Index with variable irrigation and nitrogen supply. *Journal of Irrigation Science*, 35(6), 549-560.

DeJonge, K. C., Taghvaeian, S., Trout, T. J. and Comas, L. H. (2015). Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. *Journal of Agricultural Water Management*, 156, 51-62.

Farshi, A. A., Shariati, M. R., Jarallahi, R., Gaemi, M. R., Shahabifar, M. and Tavalaii, M. M. (1997). *Estimated Water Requirements for Major Agronomic and Horticultural Plants of the Country*. Ministry of Agriculture (TAT): Soil and Water Research Institute. (In Farsi)

Fitzgerald, G. J., Rodriguez, D., Christensen, L. K., Belford, R., Sadras, V. O. and Clarke, T. R. (2006). Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rain-fed and irrigated wheat environments. *Journal of Precision Agriculture*, 7(4), 233-248.

Ghorbani, M., Broomand Nasab, S. and Soltani Mohammadi, A. (2015). Effect of water salinity in sprinkler irrigation on the CWSI index for irrigation scheduling of summer maize. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 39(3), 63-71. (In Farsi)

انجام‌شده قبلی استخراج و مورد‌استفاده قرار گیرد و هم‌چنین در ابتدای رشد گیاه که پوشش سبز گیاهی کمتر است، اندازه‌گیری دمای پوشش سبز مشکل است. برای برنامه‌ریزی آبیاری باید زمان شروع و خاتمه آبیاری را تعیین نمود. توصیه می‌گردد در عمل، از دماسنج مادون‌قرمز برای تعیین زمان شروع آبیاری و زمان خاتمه آبیاری با توجه به زمان رسیدن رطوبت خاک به رطوبت ظرفیت

Idso, S. B., Reginato, R. J., Hatfield, J. L., Walker, G. K., Jackson, R. D. and Pinter Jr, P. J. (1980). A generalization of the stress-degree-day concept of yield prediction to accommodate a diversity of crops. *Journal of Agricultural Meteorology*, 21(3), 205-211.

Idso, S. B., Jackson, R. D., Pinter Jr, P. J., Reginato, R. J. and Hatfield, J. L. (1981). Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Journal of Agricultural Meteorology*, 24, 45-55.

Lawlor, D. W. and Cornic, C. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Journal of Plant, Cell and Environment*, 25(2), 275-294.

Maes, W. H. and Steppe, K. (2012). Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. *Journal of Experimental Botany*, 63, 4671-4712.

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. *Journal of Computers and Electronics in Agriculture*, 121, 149–159.

Mohammadi, H., Broomand Nasab, S., Nasrolahi, A. H. and Eizadpanah, Z. (2016). Effect of different drought irrigation regimes on maize water stress index (CWSI). In: *Proceedings of 2nd National Congress on Iran Irrigation and Drainage*, 23-25 Aug., Esfahan University of Technology, Esfahan, Iran, pp. 1-10. (In Farsi)

Movahedi, M. R. and Salehi, B. (2010). Effect of row spacing and plant density on yield and yield components of maize (SC711) in the Mianeh region. *Journal of Modern Agricultural Science*, 6(18), 97-104. (In Farsi)

Nouraki, A., Akhavan, S. and Rezaei, Y. (2017). Evaluation of Crop Water Stress Index (CWSI) for sunflower under different Irrigation Regimes. *Journal of Researcher*, 9(7), 59-63.

Onnabi Milani, A., Neyshabouri, M. R., Mosaddeghi, M. R. and Zare Haggi, D. (2016). Relationships between leaf water potential, stress-degree-day and available water depletion in almond tree under salinity stress. *Journal of Water and Soil Science*, 26(1), 189-206. (In Farsi)

Orta, A. H., Erdem, Y. and Erdem, T. (2003). Crop water stress index for watermelon. *Scientia*

- Horticulture*, 98(2), 121-130.
- Raes, D. (2009). The ETo Calculator Version 3.1, Reference Manual. FAO, Rome, Italy, 38 p.
- Saeedinia, M., Broomand Nasab, S., Hooshmand, A., Soltani Mohammadi, A. and Andarzian, B. (2015). Applicability of CWSI index for irrigation scheduling of maize using saline water in Ahvaz. *Journal of Water and Soil Science*, 26(1), 173-185. (In Farsi)
- Seyfi, A., Mirlatifi, M., Dehghani Sanij, H. and Torabi, M. (2017). Determination of water stress index for pistachio trees under subsurface drip irrigation method using temperature difference between the air and canopy cover. *Journal of Water and Irrigation Management*, 4(1), 123-136. (In Farsi)
- Sezen, S. M., Yazar, A., Daşgan, Y., Yucel, S., Akyıldız, A., Tekin, S. and Akhoundnejad, Y. (2014). Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Journal of Agricultural Water Management*, 143, 59-70.
- Shackel, K. (2011). A plant-based approach to deficit irrigation in trees and vines. *Journal of HortScience*, 46(2), 173-177.
- Shahrokhnia, M. A. (2015). Irrigation scheduling of fields and orchards with measuring the temperature of canopy cover. *Technical Journal, Ministry of Agricultural Jihad, Fars Agricultural and Natural Resources Research Center*, 7, 1-23. (In Farsi)
- Shahrokhnia, M. A., Zare, E. Dehghani Sanij, H. (2015). Comparison of different drip irrigation scheduling tools for citrus trees in fine and medium texture soils. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 3(9), 448-458. (In Farsi)
- Taghvaeian, S., Chávez, J. L., Bausch, W. C., DeJonge, K. C. and Trout, T. J. (2014). Minimizing instrumentation requirement for estimating crop water stress index and transpiration of maize. *Journal of Irrigation Science*, 32(1), 53-65
- Taheri Ghanad, S. (2008). Irrigation scheduling of fields using a direct method. In: *Proceedings of 2nd Seminar on Improvement solutions correction of surface irrigation systems*, 22 May., Iranian Irrigation and Drainage Committee, Tehran, Iran, pp. 43-59. (In Farsi)
- Verdinejad, V. R., Besharat, S., Abghari, H. and Ahmadi, H. (2012). Estimation of maximum allowable deficit in different growth stages of fodder mays using canopy-air temperature difference. *Journal of Water and Soil*, 25(6), 1344-1352. (In Farsi)