

Irrigation scheduling of Black Gram based on Crop Water Stress Index (CWSI) under drip irrigation

AFSHIN KHORSAND¹, VAHID REZAVERDINEJAD^{1*}, HOSSEIN ASGARZADEH², ABOLFAZL MAJNOONI HERIS¹,
AMIR RAHIMI³, SINA BESHARAT¹

1. Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

2. Department of Soil Science, Urmia University, Urmia, Iran

3. Department of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran

(Received: May. 1, 2019- Revised: May. 29, 2019- Accepted: June. 1, 2019)

ABSTRACT

Empirical and theoretical methods (energy balance) are widely used to calculate the Crop Water Stress Index (CWSI) and irrigation scheduling to describe crop water status. In this study, irrigation scheduling was performed at the research farm of College of Agriculture, Urmia University, using a manual infrared thermometer and the empirical method of Idso *et al.* (1981) for the black gram under different irrigation regimes using drip irrigation in 2017. The experimental design was carried out in a randomized complete block design with three levels of irrigation I₁, I₂ and I₃ which were 50, 75 and 100 percent water requirement in three replications, respectively. Using the baselines obtained for each treatment, the average CWSI values during the growth season of black gram for I₁, I₂ and I₃ treatments were calculated to be 0.37, 0.23 and 0.15 respectively. The relationship between CWSI and total irrigation depth (mm) was determined as $CWSI = -0.0008(I) + 0.58$, and the relationship between black gram grain yield (ton/hect) and CWSI was determined as $Yield = -1.8237(CWSI) + 2.1435$ which their correlation coefficients (R^2) were 0.98 and 0.99 respectively, which shows the high accuracy of regression models. In general, if the amount of water decreases with stress during the plant growth, the CWSI value increases, and as a result of increasing CWSI, the crop grain yield decreases. Finally, the no stress treatment (I₃) with CWSI=0.15 was the basis for irrigation scheduling and then some relationships were established for determining the irrigation time using CWSI in Urmia climate for four stages of black gram growth; floral induction-flowering, pod formation, seed and pod filling, and physiological maturity as $(T_c - T_a)_C = 1.9498 - 0.1579(AVPD)$, $(T_c - T_a)_C = 4.4395 - 0.1585(AVPD)$, $(T_c - T_a)_C = 2.4676 - 0.0578(AVPD)$ and $(T_c - T_a)_C = 5.7532 - 0.1462(AVPD)$, respectively.

Keywords: Air vapor pressure deficit, Canopy temperature, Grain yield, Urmia, Water stress

برنامه‌ریزی آبیاری ماش سیاه براساس شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) تحت روش آبیاری قطره‌ای

افشین خورسند^۱، وحید رضاوردی‌نژاد^{۱*}، حسین عسگرزاده^۲، ابوالفضل مجنونی هریس^۱، امیر رحیمی^۲، سینا بشارت^۱

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۳. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۳/۸ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۳/۱۱)

چکیده

روش‌های تجربی و نظری (بیلان انرژی) به‌طور گسترده برای محاسبه شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) و برنامه‌ریزی آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرند تا وضعیت آب گیاه را توصیف کنند. برنامه‌ریزی آبیاری در تحقیق حاضر با استفاده از دستگاه مادون قرمز دستی و روش تجربی (Idso et al. (1981 در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه برای ماش سیاه تحت رژیم‌های مختلف آبیاری با روش قطره‌ای در سال ۱۳۹۶ صورت 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. با استفاده از معادلات خطوط مبنای به‌دست آمده برای هر تیمار، مقادیر میانگین CWSI در طول فصل رشد ماش سیاه برای تیمارهای I₁، I₂ و I₃ به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۲۳ و ۰/۱۵ محاسبه گردید. رابطه بین CWSI و عمق کل آبیاری (میلی‌متر) به صورت CWSI Yield = -1.8237(CWSI) + 0.58 - 0.0008(I) = و رابطه بین عملکرد دانه (تن بر هکتار) ماش سیاه و CWSI نیز به صورت Yield = 2.1435 + 2.1435 تعیین گردید که مقادیر ضریب تبیین (R²) روابط به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۹ به‌دست آمد که دقت بالای مدل‌های رگرسیونی را نشان می‌دهد. به‌طور کلی، اگر مقدار آب با اعمال تنش در طول دوره رشد گیاه کاهش پیدا کند، مقدار CWSI افزایش می‌یابد و در نتیجه با افزایش CWSI، مقدار عملکرد دانه محصول کاهش می‌یابد. در نهایت تیمار بدون تنش (I₃) با CWSI=۰/۱۵ اساس برنامه‌ریزی آبیاری قرار گرفت و سپس روابطی برای تعیین زمان آبیاری با استفاده از CWSI در اقلیم ارومیه برای چهار مرحله از رشد ماش سیاه شامل آغاز گلدهی-گلدهی، تشکیل نیام، پرشدن نیام و دانه و رسیدگی فیزیولوژیکی به ترتیب (AVPD)_C=(T_c-T_a)_C=۱/۰-۹۴۹۸/۱۵۷۹ و (AVPD)_C=(T_c-T_a)_C=۴/۰-۴۳۹۵/۱۵۸۵، (AVPD)_C=(T_c-T_a)_C=۲/۰-۴۶۷۶/۰۵۷۸ و (AVPD)_C=(T_c-T_a)_C=۵/۰-۷۵۳۲/۱۴۶۲ ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: ارومیه، تنش آبی، دمای پوشش سبز، عملکرد دانه، کمبود فشار بخار هوا

مقدمه

کشاورزی مورد کشت قرار می‌گیرد. با نظر به اینکه ماش سیاه به تیره نخود وابسته است، ارزش غذایی بالایی داشته و می‌تواند در جهت پوشش قرار دادن گرسنگی پنهان در جوامع فقیر مورد استفاده قرار گیرد. هم‌چنین با توجه به تحمل بالای خشکی توسط این گونه گیاهی، می‌توان از آن به عنوان گیاه کم‌آبر با توجه به شرایط اقلیمی منطقه که هر سال به سمت خشک‌تر شدن می‌رود، به عنوان یک محصول جایگزین استفاده کرد.

ماش سیاه بسیار به خشکی مقاوم است؛ اما برای اقلیم‌های گرمسیری مرطوب و مناطق با بارش سنگین مناسب نیست. هم‌چنین بهترین خاک برای کشت آن، خاک‌های رسی می‌باشد (Banayan and Kochaki, 2009). این گیاه نیز مانند بسیاری از حبوبات، حاوی مواد مغذی مهم از جمله آمینواسیدهای ضروری است که نقش مهمی را در بهبود رژیم غذایی و افزایش سلامت

از مهم‌ترین مشکلات و موانع تولید محصولات کشاورزی در جهان، خشکی و خشکسالی می‌باشد و ایران یکی از کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان است که همواره با محدودیت آب روبرو بوده است. یکی از استراتژی‌ها در زمینه استفاده بهینه از آب در بخش کشاورزی، برنامه‌ریزی آبیاری محصولات کشاورزی می‌باشد (Alizadeh, 2006).

ماش سیاه^۱ گیاهی با نام علمی (*Vigna mungo* L.) و از خانواده Fabaceae می‌باشد (Banayan and Kochaki, 2009) که در استان آذربایجان غربی در شهرستان‌های سردشت، پیرانشهر، اشنویه، نقده و مهاباد به عنوان کشت دوم بعد از برداشت گندم مورد کشت و زرع قرار می‌گیرد و این امر باعث افزایش درآمدزایی کشاورزان منطقه می‌گردد؛ البته این گیاه در اراضی محدود

*نویسنده مسئول: v.verdinejad@urmia.ac.ir

انسان و دام، به‌ویژه در نواحی مورد کشت این گیاه، ایفا می‌کند؛ لذا برنامه‌ریزی آبیاری این محصول برای افزایش کارایی مصرف آب در مناطقی همچون استان آذربایجان غربی که با مشکلات کمبود آب مواجه می‌باشد، دارای اهمیت ویژه‌ای است.

برنامه‌ریزی آبیاری به معنای مشخص کردن زمان آبیاری و مقدار دقیق آب لازم در هر نوبت آبیاری طی دوره رشد محصول می‌باشد (Erdem *et al.*, 2005). میزان آب آبیاری یکی از پارامترهای مؤثر بر مدیریت آبیاری می‌باشد؛ به عبارت دیگر سیستم آبیاری با مدیریت خوب، سیستمی است که میزان بهینه آب را برای رشد محصول، افزایش عملکرد و کارایی اقتصادی تولید به‌وجود آورد (Urbano, 1989). روش‌های استفاده شده برای برنامه‌ریزی آبیاری براساس شاخص‌های خاکی (مانند رطوبت خاک، پتانسیل آب خاک و مقاومت فروری خاک) و شاخص‌های گیاهی (مانند رطوبت نسبی برگ‌ها، پتانسیل آب برگ، مقاومت روزنه‌ای و دمای پوشش سبز) تعیین می‌گردد. برای بهبود برنامه‌ریزی آبیاری و همچنین تعیین زمان دقیق آبیاری از شاخص‌های گیاهی استفاده می‌گردد (Taheri Ghanad, 2008; Ahmadi *et al.*, 2017). یکی از شاخص‌های مرتبط با گیاه، دمای پوشش سبز گیاه^۱ (T_c) می‌باشد که نشان‌دهنده شدت تعرق و تنش آبی در گیاه است (Ahmadi *et al.*, 2017) و پتانسیل بالای جهت برنامه‌ریزی آبیاری دارا می‌باشد (Fernández and Cuevas, 2010). تحت تأثیر رطوبت خاک، مقاومت روزنه‌ای و متغیرهای هواشناسی مانند سرعت باد، تشعشع خالص، رطوبت نسبی و دمای هوا (T_a) می‌باشد (Idso *et al.*, 1981; Maes and Steppe, 2012; Ahi *et al.*, 2015).

برنامه‌ریزی آبیاری براساس شاخص‌های خاکی (مانند رطوبت خاک، پتانسیل آب خاک و مقاومت فروری خاک) و شاخص‌های گیاهی (مانند رطوبت نسبی برگ‌ها، پتانسیل آب برگ، مقاومت روزنه‌ای و دمای پوشش سبز) تعیین می‌گردد. برای بهبود برنامه‌ریزی آبیاری و همچنین تعیین زمان دقیق آبیاری از شاخص‌های گیاهی استفاده می‌گردد (Taheri Ghanad, 2008; Ahmadi *et al.*, 2017). یکی از شاخص‌های مرتبط با گیاه، دمای پوشش سبز گیاه^۱ (T_c) می‌باشد که نشان‌دهنده شدت تعرق و تنش آبی در گیاه است (Ahmadi *et al.*, 2017) و پتانسیل بالای جهت برنامه‌ریزی آبیاری دارا می‌باشد (Fernández and Cuevas, 2010). تحت تأثیر رطوبت خاک، مقاومت روزنه‌ای و متغیرهای هواشناسی مانند سرعت باد، تشعشع خالص، رطوبت نسبی و دمای هوا (T_a) می‌باشد (Idso *et al.*, 1981; Maes and Steppe, 2012; Ahi *et al.*, 2015).

$$(T_c - T_a)_{LL} = a - b(AVPD) = a - b \left\{ 10 \times e^{-\left[\frac{16.78T_a - 116.9}{T_a + 237.3} \right]} \times \left(1 - \frac{RH}{100} \right) \right\} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن T_c و T_a دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا ($^{\circ}C$)، AVPD کمبود فشار بخار هوا (mbar)، RH رطوبت نسبی (%)، a و b ضرایب ثابتی هستند که برای گیاهان زراعی و درختان میوه متفاوت می‌باشد. خط مبنای پایینی یک خصوصیت ویژه برای هر گیاه می‌باشد و معرف شرایطی است که گیاه از نظر تأمین آب از ناحیه ریشه با هیچ محدودیتی روبرو نباشد و میزان تبخیرپذیری هوا نیز در محدوده حداکثر خود باشد (Idso *et al.*, 1981). خط مبنای بالا (U.L) نیز معرف حداکثر مقداری است که می‌توان برای ($T_c - T_a$) توقع داشت. موقعیت خط مبنای بالا با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید (Idso *et al.*, 1981):

برنامه‌ریزی آبیاری به معنای مشخص کردن زمان آبیاری و مقدار دقیق آب لازم در هر نوبت آبیاری طی دوره رشد محصول می‌باشد (Erdem *et al.*, 2005). میزان آب آبیاری یکی از پارامترهای مؤثر بر مدیریت آبیاری می‌باشد؛ به عبارت دیگر سیستم آبیاری با مدیریت خوب، سیستمی است که میزان بهینه آب را برای رشد محصول، افزایش عملکرد و کارایی اقتصادی تولید به‌وجود آورد (Urbano, 1989). روش‌های استفاده شده برای برنامه‌ریزی آبیاری براساس شاخص‌های خاکی (مانند رطوبت خاک، پتانسیل آب خاک و مقاومت فروری خاک) و شاخص‌های گیاهی (مانند رطوبت نسبی برگ‌ها، پتانسیل آب برگ، مقاومت روزنه‌ای و دمای پوشش سبز) تعیین می‌گردد. برای بهبود برنامه‌ریزی آبیاری و همچنین تعیین زمان دقیق آبیاری از شاخص‌های گیاهی استفاده می‌گردد (Taheri Ghanad, 2008; Ahmadi *et al.*, 2017). یکی از شاخص‌های مرتبط با گیاه، دمای پوشش سبز گیاه^۱ (T_c) می‌باشد که نشان‌دهنده شدت تعرق و تنش آبی در گیاه است (Ahmadi *et al.*, 2017) و پتانسیل بالای جهت برنامه‌ریزی آبیاری دارا می‌باشد (Fernández and Cuevas, 2010). تحت تأثیر رطوبت خاک، مقاومت روزنه‌ای و متغیرهای هواشناسی مانند سرعت باد، تشعشع خالص، رطوبت نسبی و دمای هوا (T_a) می‌باشد (Idso *et al.*, 1981; Maes and Steppe, 2012; Ahi *et al.*, 2015).

$$(T_c - T_a)_{UL} = a + b(AVPG) = a + b \{ e_s(T_a + a) - e_s(T_a) \} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$e_s(T_a) = \left(0.6108 \times e^{\left(\frac{17.27 \times T_a}{237.3 + T_a} \right)} \right) \times \left(\frac{1000}{101} \right) \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن AVPG شیب فشار بخار هوا (mbar) و ضرایب a و b از خط مبنای پایینی به‌دست می‌آیند. همچنین CWSI از فرمول (۴) محاسبه می‌گردد:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{LL}}{(T_c - T_a)_{UL} - (T_c - T_a)_{LL}} \quad (\text{رابطه ۴})$$

که در آن $(T_c - T_a)_m$ اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا (قبل آبیاری) در زمان اندازه‌گیری برحسب ($^{\circ}C$) می‌باشد. محققینی در بورسا (ترکیه) روی سویا با پنج تیمار ۱۰۰،

برای اولین بار در سال ۱۹۶۳، T_c به عنوان شاخصی برای دسترسی به اطلاعات تنش آبی گیاه معرفی گردید (Tanner, 1963) که توسط دماسنج مادون قرمز (IRTs) قابل اندازه‌گیری می‌باشد. از اختلاف T_c و T_a در محاسبه شاخص تنش آبی گیاه^۲ (CWSI) استفاده می‌شود (Ahmadi *et al.*, 2017) که این شاخص برای بار اول در سال ۱۹۸۱ معرفی گردید (Idso *et al.*, 1981). محققین از CWSI برای برنامه‌ریزی آبیاری محصولات زراعی و باغی مختلفی از جمله سویا^۳ (Candogan *et al.*, 2013; Ahmadi *et al.*, 2017)، فلفل قرمز^۴ (Sezen *et al.*, 2014)، انگور^۵ (Ahi *et al.*, 2015)، پسته^۶ (Seyfi *et al.*, 2017)، ذرت^۷ (Taghvaeian *et al.*, 2012; Taghvaeian *et al.*, 2013;)

برای چهار دوره رشد به ترتیب ۴۲/۸، ۵۹/۲، ۵۸/۹ و ۶۷/۵ درصد و هم‌چنین براساس $(T_c - T_a)$ بر مبنای تیمار خشک، مقدار خط مبنای بالا ۳/۲ درجه سانتی‌گراد به‌دست آمد. در نهایت برای برنامه‌ریزی آبیاری گیاه، CWSI محاسبه و روابطی برای مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای ارائه گردید (Verdinejad *et al.*, 2012). در تحقیقی که در لرستان (خرم‌آباد) روی سویا با چهار تیمار ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی صورت گرفت، متوسط CWSI طی دوره رشد محصول برای تیمارهای فوق‌الذکر به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۳۷، ۰/۶۱ و ۰/۸۴ به‌دست آمد. هم‌چنین مبنای محاسبه زمان آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی، حد آستانه $CWSI=0/18$ (تیمار بدون تنش یا همان تیمار ۱۰۰ درصد نیاز آبی) قرار گرفت. در نهایت بین $(T_c - T_a)$ و AVPD، رابطه‌ای به صورت $AVPD=0/13 - 1/04(T_c - T_a)_C$ جهت تعیین زمان آبیاری سویا برای کل دوره رشد محصول ارائه گردید (Ahmadi *et al.*, 2017).

ارتباط بین پتانسیل آب برگ و CWSI با مقدار عملکرد لیموشیرین^۵ تحت شرایط آبیاری قطره‌ای در تحقیقی ارزیابی گردید. با استفاده از رگرسیون چند متغیره، ارتباط بین پتانسیل آب برگ به عنوان متغیر وابسته و $(T_c - T_a)$ ، AVPD، پتانسیل آب خاک به عنوان متغیر مستقل مورد بررسی قرار گرفت و نشان داده شد که این مدل توانایی استفاده جهت برنامه‌ریزی آبیاری را دارد. آزمایش‌ها نشان داد که وقتی مقدار آب در برگ گیاه کاهش پیدا می‌کند، دمای برگ نسبت به دمای محیط افزایش می‌یابد. با انجام آبیاری، رطوبت در داخل گیاه افزایش یافته و T_c کاهش می‌یابد (Sepaskhah and Kashefipour, 1994).

موقعیت خطوط مبنای پایین و بالا برای هر گیاه طی مراحل رشد گیاه لازم است براساس نوع سیستم آبیاری (سطحی (کرتی، نواری و فارو) و تحت فشار (بارانی مکانیزه یا غیرمکانیزه و قطره‌ای سطحی یا زیرسطحی)) و شرایط مدیریتی مشخص گردند تا بتوان برنامه‌ریزی آبیاری دقیق‌تری را برای گیاه انجام داد. به طور کلی، موقعیت خطوط مبنای پایین و بالا به نوع گیاه، وارپته گیاهی و شرایط آب و هوایی هر منطقه بستگی دارد و این خطوط مبنای باید برای هر منطقه و برای مراحل مختلف دوره رشد گیاه به صورت جداگانه توسعه یابند (Taghvaeian *et al.*, 2013; Ghorbani *et al.*, 2015). برای هر گیاه، یک حد بحرانی دما وجود دارد که وقتی دمای برگ از آن مقدار بیشتر شد، می‌توان گفت که تنش رطوبتی در داخل گیاه آغاز شده است. این حد بحرانی دما، مطلق نبوده و بسته به دمای هوای محیط متغیر است. بنابراین از $(T_c - T_a)$ در لحظه اندازه‌گیری، برای اندازه‌گیری تنش آبی گیاه

۷۵، ۵۰ و ۲۵ و صفر درصد نیاز آبی و دور آبیاری هفت روز، تحقیقی در سال‌های زراعی ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ انجام دادند و حد مجاز CWSI را ۰/۲۲ تعیین کردند. هم‌چنین روابط آماری بین CWSI، عملکرد دانه و تبخیر- تعرق به‌دست آوردند (Candogan *et al.*, 2013). تحقیق دیگری در تارسوس (ترکیه) در فصل‌های رشد ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ روی فلفل قرمز با سیستم آبیاری قطره‌ای و سطحی (فارو) جهت تعیین CWSI انجام گرفت. برای خط مبنای بالا و پایین بین $(T_c - T_a)$ و کمبود فشار بخار آب هوا^۱ (AVPD) به ترتیب روابط $(T_c - T_a)_{U.L} = 2/86 + 0/005 AVPD$ و $(T_c - T_a)_{L.L} = 0/1 - 49/10 AVPD$ تعیین شد و مقدار آستانه CWSI برای حداکثر عملکرد در آبیاری قطره‌ای و سطحی به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۳۸ قبل از آبیاری به‌دست آمد (Sezen *et al.*, 2014).

در سال ۲۰۱۳ به منظور ارزیابی CWSI بر روی بادمجان^۲ با استفاده از سیستم‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در تارسوس (ترکیه) با چهار تیمار آبیاری (۱۰۰، ۷۵ و ۵۰ درصد نیاز آبی و خشک شدن موضعی ریشه^۳ (PRD)) تحقیقی صورت گرفت. در این تحقیق مقدار خط مبنای بالا ۴/۰۹ درجه سانتی-گراد و رابطه خط مبنای پایین به صورت $AVPD=1/45 - 0/24(T_c - T_a)_{L.L}$ به‌دست آمد. محدوده مقادیر CWSI در روش آبیاری قطره‌ای سطحی بین ۰/۲۰ تا ۰/۵۳ و در روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی بین ۰/۱۸ تا ۰/۴۹ طی فصل رشد برای بادمجان حاصل گردید (Colak *et al.*, 2015).

در ارتباط با گیاهان یک‌ساله، تحقیقاتی در داخل کشور نیز صورت گرفته است (Seyfi *et al.*, 2017). برای برنامه‌ریزی آبیاری لوبیا چشم بلبلی^۴ از روابط بین CWSI با تبخیر- تعرق و عملکرد محصول در تحقیقی استفاده گردید. زمان آبیاری گیاه بین ساعات ۱۳ تا ۱۴ با استفاده از $CWSI=0/11$ برآورد گردید (Sepaskhah and Ilampour, 1996).

به منظور برآورد تخلیه مجاز رطوبتی و برنامه‌ریزی آبیاری ذرت علوفه‌ای براساس $(T_c - T_a)$ در کرج، آزمایش مزرعه‌ای با چهار تیمار تخلیه رطوبت تا حد پژمردگی دائم در چهار دوره رشد گیاه (مراحل استقرار، رویشی، گلدهی و رسیدگی فیزیولوژیکی) انجام گرفت. خط مبنای پایین و بالا به ترتیب توسط یک تیمار مرطوب (حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی) و یک تیمار خشک (تخلیه کامل آب قابل استفاده) تعیین گردید. براساس $(T_c - T_a)$ برای چهار تیمار تخلیه رطوبت تا نقطه پژمردگی دائم و مقایسه آن با تیمار مرطوب، حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی گیاه

4. Cowpea
5. Sweetlime

1. Air Vapor Pressure Deficit
2. Eggplant
3. Partial Root-zone Drying

استفاده می شود (Shahrokhnia et al., 2015).

آمبرژه به ترتیب نیمه خشک و نیمه خشک سرد می باشد. دوره بارندگی از اواخر مهر شروع و تا خرداد ماه ادامه می یابد. جزئیات کاشت، مراحل مهم رشد و همچنین سایر عملیات زراعی 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 جهت خرد کردن کلوخه ها و آماده سازی بستر بذر در بهار سال ۱۳۹۶ دو بار و سپس عملیات کرت بندی صورت گرفت. ابعاد کرت ها سه در دو (متر در متر) و فاصله کرت ها از همدیگر دو متر در نظر گرفته شد. در مرحله بعد، نشاءها روی ردیف هایی به فاصله ۵۰ سانتی متر و روی ردیف ها به فاصله ۱۰ سانتی متر از هم کاشته شدند.

قبل از کاشت و انتقال نشاء، از اعماق مختلف خاک مزرعه جهت تعیین خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک، با استفاده از سیلندرهای نمونه برداری و آگر، نمونه های خاک تهیه گردید. شوری و pH خاک به ترتیب با EC متر و pH متر اندازه گیری شدند. رطوبت در حد ظرفیت زراعی (۳۰ کیلو پاسکال) و نقطه پژمردگی دائم (۱۵۰۰ کیلو پاسکال) با استفاده از دستگاه صفحات فشاری اندازه گیری گردید. سایر پارامترهای شیمیایی و خواص فیزیکی خاک در جداول (۲ و ۳) ارائه شده است.

با توجه به اینکه تاکنون در تحقیقات داخلی و خارجی در ارتباط با برنامه ریزی آبیاری ماش سیاه با استفاده از شاخص تنش آبی تحقیقی صورت نگرفته؛ لذا در این تحقیق از T_c و CWSI برای برنامه ریزی آبیاری ماش سیاه در منطقه ارومیه با سیستم آبیاری قطره ای سطحی تحت رژیم های مختلف آبیاری استفاده گردید. اهداف تحقیق حاضر عبارتند از ۱- تعیین معادلات خطوط مبنای پایین و بالا جهت محاسبه و ارزیابی CWSI تجربی و ۲- ارائه روابط برنامه ریزی آبیاری ماش سیاه طی مراحل مختلف رشد با استفاده از CWSI تجربی.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه در سال ۱۳۹۶ روی محصول ماش سیاه صورت گرفت. این مکان از نظر موقعیت جغرافیایی در ۳۷ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی، ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و ارتفاع ۱۳۶۵ متر از سطح دریا واقع شده است. اقلیم شهرستان ارومیه طبق اقلیم نماهای دوماتر تن و

جدول ۱- تاریخ و جزئیات کاشت محصول برای مزرعه آزمایشی

توضیحات	سال آزمایش		ماش سیاه
	۱۳۹۶		
-	۲۰۰۰۰۰		تعداد بوته در هکتار (plants/ha)
بذر ها در سینی ها کاشته شدند.	۲۴ اردیبهشت		تاریخ کاشت
-	۳۱ اردیبهشت		تاریخ جوانه زنی اولیه
-	۶ خرداد		تاریخ ۷۰ درصد جوانه زنی
بعد از جوانه زنی کامل، انتقال صورت گرفت.	۱۷ خرداد		تاریخ انتقال نشاء
-	۲۲ شهریور		تاریخ برداشت
چندین بار طی دوره رشد	۴ و ۵ خرداد		تاریخ اولین مبارزه با علف های هرز
یکبار قبل از انتقال نشاء	۷ خرداد		تاریخ کود ماکرو کامل
دو بار طی دوره رشد	۳۱ خرداد و ۱۱ تیر		تاریخ کود اوره
به صورت مخلوط با ۷/۲ لیتر آب	۱۴ تیر		تاریخ محلول پاشی کود مایع
به صورت مخلوط با ۷/۲ لیتر آب	۲۸ تیر		تاریخ محلول پاشی کود آمینواسید
از آبیاری دهم به بعد	۲۸ تیر		تاریخ اعمال تنش آبی

جدول ۲- خواص شیمیایی خاک مورد آزمایش

عمق خاک (cm)	CaCO ₃ (%)	OM	OC	ECe (dS m ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)	P	pH (-)
۶۰-۳۰	۱۳/۰	۱/۰۷	۰/۶۲	۰/۹۴	۱۳۸/۳۸	۱۲	۷/۹

Note: EC, Electrical conductivity; K, Potassium; P, Phosphorus; OM, Organic matter; OC, Organic carbon.

جدول ۳- خواص فیزیکی خاک مورد آزمایش

BD (g cm ⁻³)	PWP (cm ³ cm ⁻³)	FC	بافت خاک	توزیع اندازه ذرات (%)			عمق خاک (cm)
				رس	سیلت	شن	
۱/۳۷۰	۰/۲۴۱	۰/۳۵۳	Silt Clay Loam	۴۴	۵۰	۶	۳۰-۰
۱/۴۷۳	۰/۲۴۹	۰/۳۶۰	Clay Loam	۳۹	۳۳	۲۸	۶۰-۳۰

Note: FC, Field capacity; PWP, Permanent wilting point; BD, Bulk density

طرح آزمایشی و برنامه آبیاری

است. طرح آزمایشی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تیمار آبی بر روی ماش سیاه در سه تکرار اجرا گردید که تیمارها شامل تأمین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه (I₁)، تأمین ۷۵ درصد نیاز آبی گیاه (I₂) و تأمین ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه (I₃) یا تیمار شاهد می‌باشد.

تأثیر تیمارهای مختلف آب آبیاری در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفت. منبع آب آبیاری، چاه عمیق مزرعه مطالعاتی دانشگاه ارومیه بود که خصوصیات کیفی آب آبیاری در جدول (۴) ارائه شده

جدول ۴- خصوصیات کیفی آب آبیاری

کلاس آب (-)	SAR ($\sqrt{\text{mmol l}^{-1}}$)	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	HCO ₃ ²⁻	CO ₃ ²⁻	EC × 10 ⁻⁶ μmohs cm ⁻¹	pH (-)
		(meq l ⁻¹)								
C ₂ -S ₁	۰/۱۶	۰/۳	۳/۷	۳/۳	۰/۰۴	۰/۸	۵/۸	۰	۶۵۰	۷/۳

فواصل قطره‌چکان‌های درون خط 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 میلی‌متر در ۱۶ میلی‌متر استفاده گردید (شکل ۱). آبیاری‌ها هر سه یا چهار روز در طول دوره رشد ماش سیاه صورت گرفت. کودها جهت جلوگیری از کمبود مواد غذایی و به مقدار یکسان (Sezen *et al.*, 1997; DeJonge *et al.*, 2014, 2015) برای سه تیمار آبیاری استفاده گردید. کوددهی به صورت محلول‌پاشی و خاکی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱).

اندازه‌گیری دمای پوشش گیاهی و شاخص تنش آبی

در سال‌های اول دهه ۱۹۷۰، نوعی دماسنج قابل حمل و ساده بنام دماسنج فروسرخ^۳ در آزمایشگاه حفاظت آب آمریکا ساخته و توسعه یافت که برای اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاهی و برگ‌ها، زیاد مورد استفاده قرار گرفت. از مزیت‌های عمده دماسنج فروسرخ آن است که می‌توان همزمان دمای چندین برگ را اندازه‌گیری کرد. قبل از اختراع این دستگاه بسیار مشکل بود که بتوان اختلاف دمای گیاه و هوا را اندازه‌گیری کرد؛ زیرا هیچ وسیله‌ای وجود نداشت که بتوان با آن دمای گروهی از برگ‌ها را یکجا اندازه‌گیری کرد. هم‌چنین اندازه‌گیری‌ها با دماسنج فروسرخ آسان است چونکه این ابزار، دستی و سبک وزن هستند (Jackson *et al.*, 1981; Kirkham, 2005).

برای تعیین نیاز آبی، پارامترهای هواشناسی روزانه از ایستگاه هواشناسی دانشگاه ارومیه به‌دست آمد و با استفاده از نرم‌افزار ET_o Calculator V3.1 مقدار تبخیر تعرق مرجع (ET_o) محاسبه گردید (Raes, 2009). با استفاده از فرمول (۵)، ET_o محاسبه شده با ضرب در ضریب گیاهی (K_c) (Farshi *et al.*, 1997) به مقادیر تبخیر-تعرق پتانسیل ماش سیاه (ET_c) تعمیم داده شد (جدول ۵) و راندمان آبیاری قطره‌ای در این مطالعه ۹۰ درصد در نظر گرفته شد (Keller and Bliesner, 1990):

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad (\text{رابطه ۵})$$

بلافاصله بعد از انتقال نشاء، جهت استقرار نشاء‌های انتقال یافته به مزرعه یک آبیاری صورت گرفت. مقادیر نیاز آبی برای تیمارهای I₁، I₂ و I₃ به ترتیب ۲۷۹/۴۱، ۴۱۹/۱۲ و ۵۵۸/۸۲ میلی‌متر و هم‌چنین مقدار ET_o طی دوره رشد ماش سیاه ۵۵۴/۷۰ میلی‌متر به‌دست آمد. با توجه به اینکه ماش سیاه در منطقه به عنوان کشت دوم مورد استفاده قرار می‌گیرد و از طرفی جهت استقرار مطلوب گیاه، اعمال تنش آبی از اواخر تیر ماه (آبیاری دهم) و در مرحله گلدهی شروع شد.

طی دوره رشد گیاه، آبیاری با استفاده از لوله آبیاری قطره‌ای ۱۶ میلی‌متر درپردار که در کنار هر ردیف گیاه قرار گرفته بود اعمال شد (Sezen *et al.*, 2014). لوله‌های ۱۶ میلی‌متر دارای فشار ثابت^۱ و ضخامت ۱/۱۵ میلی‌متر بودند. هم‌چنین

جدول ۵- برنامه آبیاری ماش سیاه برای تیمار شاهد طی دوره رشد محصول

ردیف	نوبت آبیاری	عمق آبیاری (mm)	ردیف	نوبت آبیاری	عمق آبیاری (mm)
۱	۱۳۹۶/۰۳/۲۱	۱۵/۶۲	۱۲	۱۳۹۶/۰۵/۰۴	۲۲/۲۴
۲	۱۳۹۶/۰۳/۲۴	۱۱/۲۸	۱۳	۱۳۹۶/۰۵/۰۸	۲۸/۶۰
۳	۱۳۹۶/۰۳/۲۸	۱۷/۲۰	۱۴	۱۳۹۶/۰۵/۱۱	۲۱/۱۴
۴	۱۳۹۶/۰۳/۳۱	۱۴/۸۴	۱۵	۱۳۹۶/۰۵/۱۵	۲۷/۷۴
۵	۱۳۹۶/۰۴/۰۴	۱۸/۵۳	۱۶	۱۳۹۶/۰۵/۱۸	۲۱/۲۷
۶	۱۳۹۶/۰۴/۰۷	۱۵/۱۲	۱۷	۱۳۹۶/۰۵/۲۲	۲۸/۱۱
۷	۱۳۹۶/۰۴/۱۱	۲۴/۵۷	۱۸	۱۳۹۶/۰۵/۲۵	۲۵/۶۷
۸	۱۳۹۶/۰۴/۱۴	۱۸/۵۱	۱۹	۱۳۹۶/۰۵/۲۹	۲۴/۵۷
۹	۱۳۹۶/۰۴/۲۱	۴۷/۹۸	۲۰	۱۳۹۶/۰۶/۰۵	۴۷/۶۷
۱۰	۱۳۹۶/۰۴/۲۸	۴۸/۳۶	۲۱	۱۳۹۶/۰۶/۱۲	۴۹/۳۴
۱۱	۱۳۹۶/۰۵/۰۱	۳۰/۴۹	-	-	-



شکل ۱- تصاویری از مراحل کار و رشد گیاه

(1981) برای چهار مرحله از رشد ماش سیاه (آغاز گلدهی- گلدهی، تشکیل نیام، پرشدن نیام و دانه و رسیدگی فیزیولوژیکی) در روزهای مختلف بعد از آبیاری در جدول (۶) ارائه گردیده است. همچنین ارتباط بین $(T_c - T_a)$ در مقابل AVPD در شکل (۲) قابل مشاهده است. با توجه به این شکل، محدوده AVPD و $(T_c - T_a)$ برای چهار مرحله رشد ماش سیاه به ترتیب، ۴ الی ۴۶ میلی بار و ۳ الی ۷ °C است.

از معادلات خطوط مبنای پایین برآزش داده شده در چهار مرحله رشد گیاه می توان در مکان های مختلفی برای ماش سیاه استفاده کرد؛ به شرطی که محدوده AVPD گسترده باشد، اما اگر این بازه محدودتر باشد، چنین امکانی برای آن مهیا نخواهد بود (Gardner and Shock, 1989). با افزایش AVPD، $(T_c - T_a)$ (از نظر قدر مطلق) هم افزایش می یابد. میزان افزایش $(T_c - T_a)$ با زمان، کاهش می یابد و به تیمار آبیاری هم وابسته است (Taghvaeian *et al.*, 2013). افزایش AVPD همراه با افزایش تبخیر و تعرق بوده و اگر نیاز آبی محصول تأمین گردد، گیاه خنک نگه داشته می شود (Saeedinia *et al.*, 2015). بررسی روابط خطوط مبنای پایین نشان داد که مقادیر ضرایب a و b (معادله ۱) برای هر مرحله رشد از گیاه، متفاوت است. همچنین شیب خط برای هر چهار مرحله رشد گیاه منفی به دست آمد. از دلایل متفاوت بودن مقادیر این ضرایب، می توان به تفاوت پتانسیل جذب آب و همچنین مقدار تعرق طی مراحل رشد گیاه اشاره کرد (Ahmadi *et al.*, 2017).

همچنین با استفاده از روش (Idso *et al.*, 1981) مقادیر خط مبنای بالا (معادله ۲) برای ماش سیاه در مراحل آغاز گلدهی- گلدهی، تشکیل نیام، پرشدن نیام و دانه و رسیدگی فیزیولوژیکی به ترتیب ۲/۶۳، ۶/۲۵، ۲/۷۹ و ۷/۷۳ °C به دست آمد (جدول ۶) که نشانگر متفاوت بودن مقدار خط مبنای بالا برای هر چهار مرحله رشد ماش سیاه، وضعیت اشباع هوا از بخار آب، توقف کامل تعرق در هر مرحله رشد و در نتیجه بیشترین تنش وارد شده بر آن می باشد. با توجه به تحقیقات در زمینه برنامه ریزی آبیاری براساس CWSI، مشخص می گردد که موقعیت خط مبنای بالا به نوع گیاه و شرایط آب و هوایی هر منطقه بستگی دارد (Verdinejad *et al.*, 2012).

معادلات خطوط مبنای پایین و بالا در تاریخ های مختلف دوره رشد ماش سیاه در جدول (۷) ارائه گردیده است. با توجه به جدول (۷)، مقادیر a و b متفاوتی در روزهای مختلفی از دوره رشد گیاه برای معادلات خط مبنای پایین به دست آمد که دلایل

برای اندازه گیری دمای برگ های ماش سیاه از دماسنج مادون قرمز دستی (مدل Fluke Mini IR62) استفاده گردید (شکل ۱). دمای پوشش سبز گیاهی تحت تأثیر فاکتورهای مختلفی از جمله اقلیم منطقه، مراحل مختلف رشد محصول، شوری و رطوبت خاک است (Ahmadi *et al.*, 2017). در تحقیق حاضر از زمان کاشت تا ۱۹ تیر به علت پوشش گیاهی کمتر ماش سیاه و کوچک بودن میدان اندازه گیری دستگاه مادون قرمز، اندازه گیری دمای برگ های ماش سیاه صورت نگرفت. اندازه گیری دمای برگ زمانی که آسمان صاف و بدون ابر بود (Taghvaeian *et al.*, 2017; Seyfi *et al.*, 2014; Sezen *et al.*, 2012) از چهار جهت جغرافیایی (Erdem *et al.*, 2005) برای هر تیمار با سه تکرار صورت گرفت. اندازه گیری ها از برگ های مختلف ماش سیاه صورت گرفت و از میانگین گیری این مقادیر، متوسط دمای برگ ماش سیاه به دست آمد (Verdinejad *et al.*, 2012; Sezen *et al.*, 2014).

برای به دست آوردن معادلات خطوط مبنای بالا و پایین با استفاده از روش تجربی ایدسو، باید روزانه چهار الی پنج بار به صورت ساعتی دمای پوشش سبز گیاهی اندازه گیری گردد (Idso *et al.*, 1981). در این تحقیق برای محاسبه خط مبنای پایین (معادله ۱) دمای برگ های ماش سیاه در روزهای بعد از آبیاری (Taghvaeian *et al.*, 2013) برای تیمار شاهد یا بدون تنش (I_3) به صورت ساعتی از ۸:۵۰ صبح تا ۱۴:۵۰ بعد از ظهر با فاصله زمانی یک ساعت اندازه گیری گردید.

همچنین برای تعیین شاخص CWSI (معادله ۴) و محاسبه $(T_c - T_a)_m$ دمای برگ های ماش سیاه در روزهای قبل از آبیاری برای هر سه تیمار (I_1 ، I_2 و I_3) به صورت ساعتی از ۱۱:۵۰ تا ۱۴:۵۰ اندازه گیری گردید. لازم به ذکر است مقادیر CWSI برای چهار مرحله از رشد ماش سیاه (آغاز گلدهی- گلدهی، تشکیل نیام، پرشدن نیام و دانه و رسیدگی فیزیولوژیکی) محاسبه گردید. در استخراج روابط فرض بر این بود که غیر از تنش آبی، گیاه متحمل تنش محیطی دیگری نشده است. همچنین برای به دست آوردن داده های دمای هوا و رطوبت نسبی در بازه های زمانی ۱۰ دقیقه از دستگاه هواشناسی واچداگ^۱ که در مزرعه نصب شده بود، استفاده گردید.

نتایج و بحث

معادلات خطوط مبنای پایین و بالا

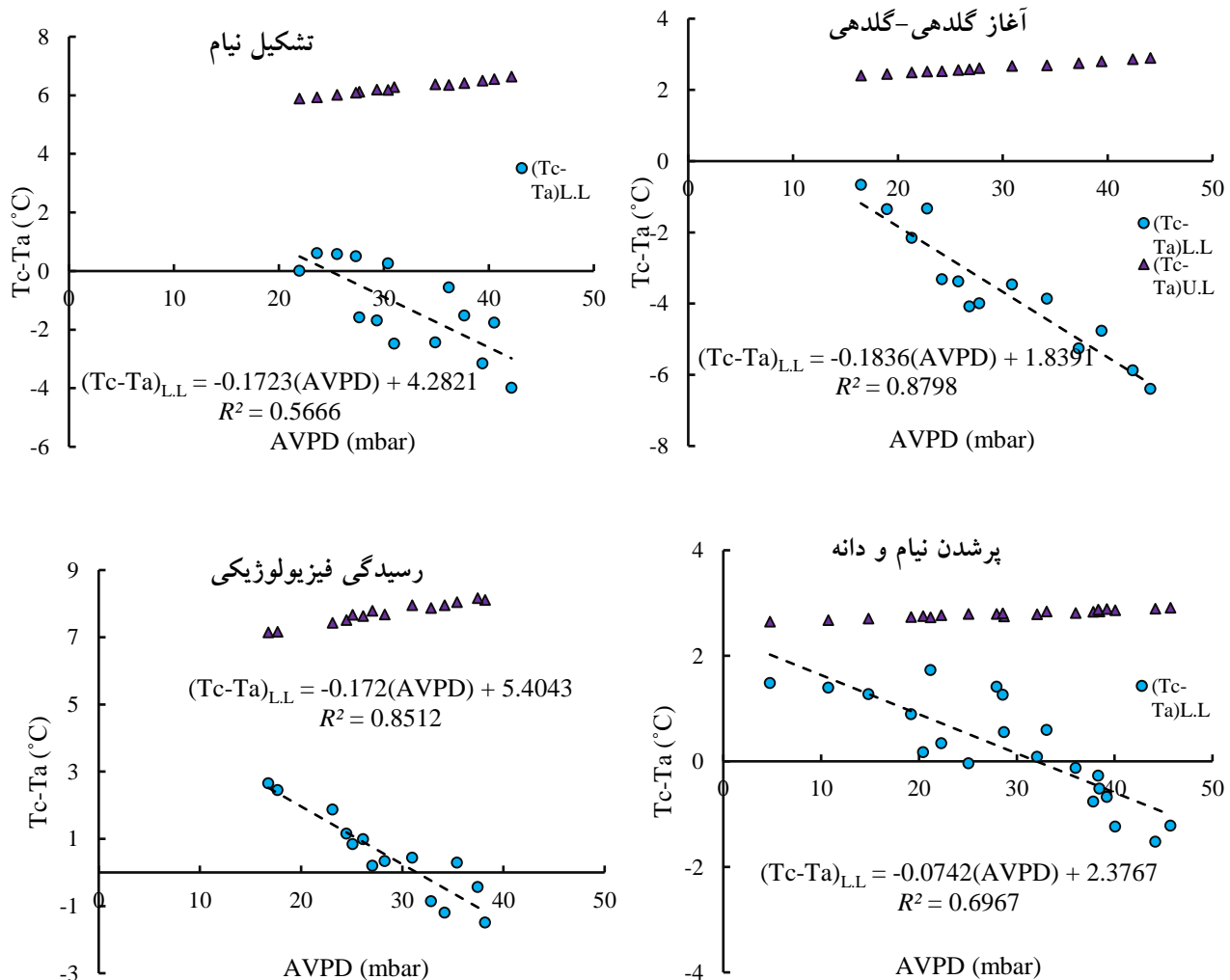
معادلات خط مبنای پایین با استفاده از روش تجربی (Idso *et al.*

صورت گرفته، برای به دست آوردن معادلات خطوط مبنای پایین و بالا در نظر گرفته شد. نمونه محاسبات در جداول (۸ و ۹) ارائه گردیده است، هم‌چنین رابطه رگرسیونی بین $(T_c - T_a)$ در مقابل AVPD برای تعیین خطوط مبنای پایین و بالا در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۹ رسم شد که نمودار آن در شکل (۳) قابل مشاهده است. با توجه به این شکل، با افزایش AVPD، $(T_c - T_a)$ (از نظر قدر مطلق) افزایش و تبخیر و تعرق هم افزایش می‌یابد. مقادیر a، b و مقدار خط مبنای بالا در این شکل به ترتیب ۳/۸۱۱، ۰/۲۲۹۷ و ۶/۲۶ به دست آمد.

متفاوت بودن مقادیر این ضرایب قبلاً بحث گردیده است. محدوده ضریب تبیین معادلات خط مبنای پایین از ۰/۸۲ تا ۰/۹۸ متغیر می‌باشد و مقدار بالای این ضریب، نشان‌دهنده دقت قابل قبول روابط استخراجی است. هم‌چنین محدوده معادلات خط مبنای بالا در روزهای مختلفی از مقدار ۲/۴۶ تا ۹/۹۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد که بیانگر تفاوت وضعیت تنش کامل طی دوره رشد گیاه است. با توجه به اینکه تعداد داده‌های اندازه‌گیری شده T_c ماش سیاه در مزرعه تحقیقاتی زیاد بود، فقط تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۹ (بعد از آبیاری) در تیمار شاهد (I_3)، جهت ارائه نمونه محاسبات

جدول ۶- معادلات مربوط به خطوط مبنای پایین و بالا به روش ایدسو

ماه	مراحل رشد	خط مبنای پایین	خط مبنای بالا	R^2	p-value
تیر	آغاز گلدهی-گلدهی	$(T_c - T_a)_{LL} = 1/1836(AVPD) - 0/1836$	$(T_c - T_a)_{UL} = 2/63$	۰/۸۸	<۰/۰۰۱
مرداد	تشکیل نیام	$(T_c - T_a)_{LL} = 4/2821 - 0/1723(AVPD)$	$(T_c - T_a)_{UL} = 6/25$	۰/۵۷	<۰/۰۱
	پرشدن نیام و دانه	$(T_c - T_a)_{LL} = 2/3767 - 0/1742(AVPD)$	$(T_c - T_a)_{UL} = 2/79$	۰/۷۰	<۰/۰۰۱
شهریور	رسیدگی فیزیولوژیکی	$(T_c - T_a)_{LL} = 5/4043 - 0/172(AVPD)$	$(T_c - T_a)_{UL} = 7/73$	۰/۸۵	<۰/۰۰۱



شکل ۲- نمودار خطوط مبنای پایین و بالا برای چهار مرحله از رشد ماش سیاه تحت آبیاری قطره‌ای

جدول ۷- معادلات خطوط مبنای پایین و بالا در تاریخ‌های مختلف دوره رشد گیاه

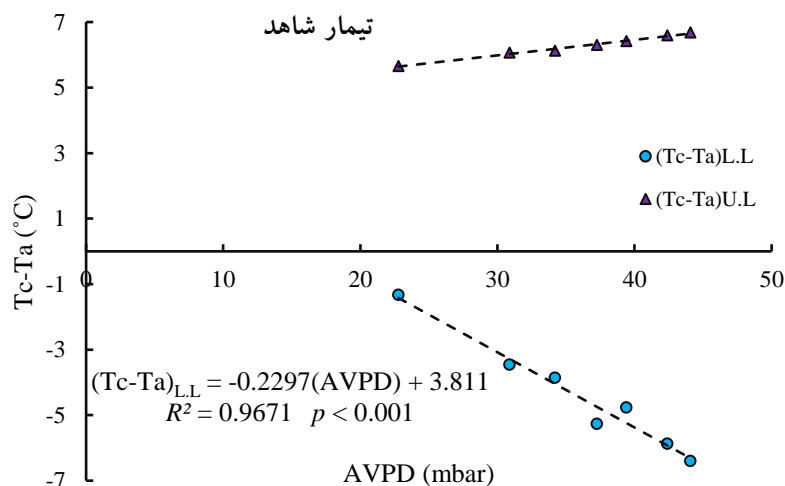
خط مبنای بالا	R^2	خط مبنای پایین	تاریخ
$(T_c - T_a)_{U.L} = 7/44$	۰/۹۸	$(T_c - T_a)_{L.L} = 4/4634 - 0/3115 (AVPD)$	۱۳۹۶/۰۴/۲۲
$(T_c - T_a)_{U.L} = 6/26$	۰/۹۷	$(T_c - T_a)_{L.L} = 3/811 - 0/2297 (AVPD)$	۱۳۹۶/۰۴/۲۹
$(T_c - T_a)_{U.L} = 5/22$	۰/۹۴	$(T_c - T_a)_{L.L} = 3/5435 - 0/1771 (AVPD)$	۱۳۹۶/۰۵/۰۵
$(T_c - T_a)_{U.L} = 6/19$	۰/۹۱	$(T_c - T_a)_{L.L} = 4/4407 - 0/1489 (AVPD)$	۱۳۹۶/۰۵/۱۲
$(T_c - T_a)_{U.L} = 6/31$	۰/۹۳	$(T_c - T_a)_{L.L} = 4/6014 - 0/1391 (AVPD)$	۱۳۹۶/۰۵/۱۹
$(T_c - T_a)_{U.L} = 2/46$	۰/۸۲	$(T_c - T_a)_{L.L} = 2/1254 - 0/080 (AVPD)$	۱۳۹۶/۰۵/۲۶
$(T_c - T_a)_{U.L} = 6/72$	۰/۹۶	$(T_c - T_a)_{L.L} = 4/9039 - 0/1347 (AVPD)$	۱۳۹۶/۰۵/۳۰
$(T_c - T_a)_{U.L} = 9/90$	۰/۹۷	$(T_c - T_a)_{L.L} = 6/4275 - 0/2149 (AVPD)$	۱۳۹۶/۰۶/۰۶
$(T_c - T_a)_{U.L} = 5/67$	۰/۸۳	$(T_c - T_a)_{L.L} = 4/3143 - 0/1268 (AVPD)$	۱۳۹۶/۰۶/۱۳

جدول ۸- محاسبات مربوط به اندازه‌گیری خط مبنای پایین (L.L) برای تیمار شاهد در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۹

ساعات اندازه‌گیری	۸:۵۰	۹:۵۰	۱۰:۵۰	۱۱:۵۰	۱۲:۵۰	۱۳:۵۰	۱۴:۵۰
$T_c (°C)$	۲۴/۰۷	۲۵/۹۳	۲۶/۰۴	۲۶/۱۳	۲۷/۶۳	۲۷/۸۲	۲۸/۰
$T_a (°C)$	۲۵/۴	۲۹/۴	۲۹/۹	۳۱/۴	۳۲/۴	۳۳/۷	۳۴/۴
$T_c - T_a (°C)$	-۱/۳۳	-۳/۴۷	-۳/۸۶	-۵/۲۷	-۴/۷۷	-۵/۸۸	-۶/۴۰
RH(%)	۲۹/۸	۲۴/۷	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹	۱۹
AVPD(mbar)	۲۲/۷۸	۳۰/۸۸	۳۴/۱۹	۳۷/۲۵	۳۹/۴۲	۴۲/۴۰	۴۴/۰۸

جدول ۹- محاسبات مربوط به اندازه‌گیری خط مبنای بالا (U.L) برای تیمار شاهد در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۹

ساعات اندازه‌گیری	۸:۵۰	۹:۵۰	۱۰:۵۰	۱۱:۵۰	۱۲:۵۰	۱۳:۵۰	۱۴:۵۰
$T_a (°C)$	۲۵/۴	۲۹/۴	۲۹/۹	۳۱/۴	۳۲/۴	۳۳/۷	۳۴/۴
$T_a + a (°C)$	۲۹/۲۱	۳۳/۲۱	۳۳/۷۱	۳۵/۲۱	۳۶/۲۱	۳۷/۵۱	۳۸/۲۱
$e_s(T_a) (mbar)$	۳۲/۱۲	۴۰/۵۹	۴۱/۷۷	۴۵/۵۰	۴۸/۱۵	۵۱/۷۹	۵۳/۸۵
$e_s(T_a + a) (mbar)$	۴۰/۱۵	۵۰/۴۰	۵۱/۸۲	۵۶/۳۲	۵۹/۵۱	۶۳/۸۸	۶۶/۳۴
AVPG (mbar)	۸/۰۳	۹/۸۱	۱۰/۰۵	۱۰/۸۲	۱۱/۳۵	۱۲/۰۸	۱۲/۴۹
$(T_c - T_a)_{U.L} (°C)$	۵/۶۵	۶/۰۶	۶/۱۲	۶/۳۰	۶/۴۲	۶/۵۹	۶/۶۸



شکل ۳- نمودار خطوط مبنای پایین و بالا برای تیمار شاهد در تاریخ ۱۳۹۶/۴/۲۹

ارتباط شاخص CWSI با عمق آبیاری و عملکرد دانه

همچنین مقادیر متوسط CWSI طی دوره رشد ماش سیاه برای سه تیمار ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۲۳ و ۰/۱۵ به دست آمد. بازه CWSI طبق گفته (Idso *et al.*, 1981) بین صفر و یک می باشد ولی نتایج برخی تحقیقات نشان داد که مقادیر CWSI از بازه صفر و یک تجاوز می کند (Taghvaeian *et al.*, 2012; Taghvaeian *et al.*, 2013). محاسبه متوسط CWSI از مقادیری که بین بازه صفر و یک بود، استفاده گردید (Ahi *et al.*, 2015). وابسته به شرایط رطوبتی خاک، اتمسفر و گیاه، گاهی اوقات ممکن است مقادیر $(T_c - T_a)_m$ بزرگتر از $(T_c - T_a)_{UL}$ به دست بیاید؛ بنابراین CWSI می تواند کمی بزرگتر از یک باشد (DeJong *et al.*, 2015).

CWSI شاخصی از شدت تنش آبی است که نشان دهنده رابطه تعرق و تأمین آب در پوشش سبز گیاهی است (Chen *et al.*, 2010). ابتدا برای محاسبه CWSI، باید خطوط مبنای پایین و بالا برای هر گیاه توسعه یابند (Taghvaeian *et al.*, 2012). با معلوم شدن معادلات خطوط مبنای پایین و بالا برای چهار مرحله از رشد ماش سیاه (جدول ۶) و همچنین محاسبه میانگین $(T_c - T_a)$ در روزهای قبل از آبیاری (ساعت ۱۱:۵۰ تا ۱۴:۵۰)، مقادیر CWSI برای تیمارهای I₁، I₂ و I₃ محاسبه گردید (جدول ۱۰). با توجه به جدول (۱۰)، مقادیر آستانه CWSI برای تیمار شاهد (I₃) در چهار مرحله رشد به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۰۸، ۰/۲۲ و ۰/۱۵ و

جدول ۱۰- مقادیر شاخص CWSI و تبخیر- تعرق بدون احتساب راندمان در طول دوره رشد ماش سیاه

ماه	مراحل رشد	تیمار ۵۰٪ (I ₁)	تیمار ۷۵٪ (I ₂)	تیمار ۱۰۰٪ (I ₃)	ET (mm)
خرداد	دوره رویشی	-	-	-	۵۳/۰۳
تیر	آغاز گلدهی-گلدهی	-	-	۰/۱۴	۱۵۵/۷۵
مرداد	تشکیل نیام	۰/۲۸	۰/۱۳	۰/۰۸	۲۰۶/۸۵
	پرشدن نیام و دانه	۰/۴۷	۰/۲۸	۰/۲۲	
شهریور	رسیدگی فیزیولوژیکی	۰/۳۵	۰/۲۷	۰/۱۵	۸۷/۳۱
	متوسط	۰/۳۷	۰/۲۳	۰/۱۵	-

برای فلفل قرمز و بادمجان تحت روش آبیاری قطره ای سطحی صورت گرفت، مقادیر آستانه CWSI به ترتیب ۰/۲۰ و ۰/۲۶ به دست آمد (Sezen *et al.*, 2014; Colak *et al.*, 2015). همان طور که قبلاً ذکر شد تحقیق داخلی و خارجی جهت ارزیابی شاخص تنش آبی ماش سیاه صورت نگرفته تا با نتایج تحقیق حاضر مقایسه گردد.

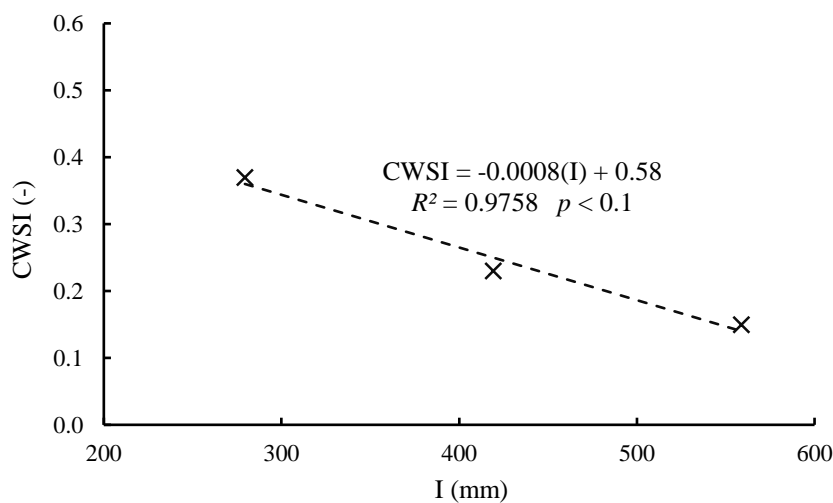
ارتباط بین CWSI و تبخیر- تعرق (ET) مستقیم می باشد یعنی هر چقدر مقدار ET بیشتر باشد مقدار CWSI به عدد یک نزدیک تر و هر چقدر مقدار ET کمتر باشد مقدار CWSI به صفر نزدیک تر است. با توجه به جدول (۱۰)، بیشترین تبخیر- تعرق در مرداد ماه اتفاق افتاده؛ لذا حداکثر مقدار شاخص تنش آبی برای هر سه تیمار آبی مربوط به این ماه می باشد. رابطه بین CWSI و عمق کل آبیاری (I) از رسم میانگین CWSI و مقدار کل آب داده شده برای هر تیمار در طول دوره رشد ماش سیاه به دست آمد. رابطه رگرسیونی بین شاخص تنش آبی و عمق آبیاری $CWSI = -0.0008(I) + 0.58$ با ضریب تعیین ۰/۹۸ تعیین گردید (شکل ۴). با توجه به شکل (۴)، هر چقدر مقدار آب با

حداکثر CWSI برای هر سه تیمار در مرداد ماه (مرحله پرشدن نیام و دانه) اتفاق افتاده و بیشترین مقدار CWSI مربوط به تیمار کم آبیاری شدید (I₁) می باشد. گیاه در اثر آبیاری کمتر برای مقابله با کم آبی، روزنه های خود را می بندد (Taghvaeian *et al.*, 2013) و T_c افزایش پیدا می کند و در نتیجه CWSI افزایش می یابد. با توجه به اینکه شرایط اقلیمی برای هر سه تیمار یکسان بوده، T_c تنها عاملی است که باعث افزایش بیشتر CWSI در تیمار I₁ شده است. به طور کلی، مقادیر CWSI با افزایش تنش آبی، افزایش می یابد (Ahi *et al.*, 2015). روش تجربی CWSI (Idso *et al.*, 1981) در تحقیقات داخلی و خارجی مختلفی جهت مدیریت آبیاری گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است. Irmak *et al.* (2000) تحقیقی را روی ذرت تحت شرایط نیمه خشک مدیترانه ای (ترکیه) انجام دادند و متوجه شدند برای اینکه عملکرد محصول کاهش نیابد باید مقدار میانگین فصلی CWSI زیر ۰/۲۲ باشد. مقادیر آستانه CWSI برای گیاهان مختلفی از جمله گندم دیم و سویا به ترتیب ۰/۴ و ۰/۱۸ به دست آمد (Feiziasl *et al.*, 2017; Ahmadi *et al.*, 2014). همچنین در تحقیقات دیگری که

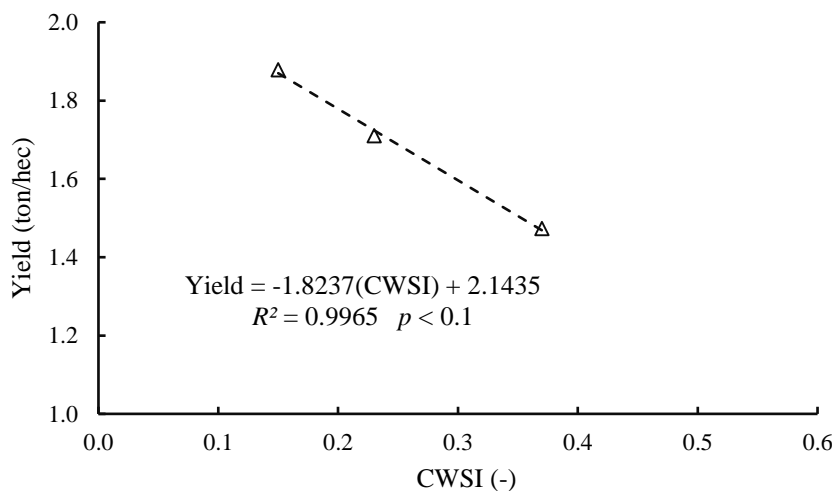
شاخص تنش آبی ۰/۳۷ برابر ۱/۴۷ تن بر هکتار است. هر چقدر میزان تنش آبی در گیاه افزایش می‌یابد مقدار عملکرد دانه محصول کاهش می‌یابد. به طور کلی ارتباط بین عملکرد دانه با شاخص تنش آبی معکوس می‌باشد؛ لذا می‌توان از CWSI در برآورد عملکرد دانه محصول تحت شرایط تنش آبی استفاده کرد (Ahmadi *et al.*, 2017). با توجه به دقت بالای مدل رگرسیونی ($R^2 = 0.99$) به دست آمده بین عملکرد محصول و CWSI، می‌توان از این مدل برای مدیریت بهتر آب در مزرعه استفاده کرد.

اعمال تنش در طول دوره رشد گیاه کاهش پیدا کرده، مقدار CWSI افزایش یافته است. به عبارتی دیگر، گیاه در اثر آبیاری کم برای مقابله با کم‌آبی، روزنه‌های خود را بسته و T_c افزایش پیدا کرده و در نتیجه CWSI افزایش یافته است.

رابطه رگرسیونی بین عملکرد دانه ماش سیاه و CWSI نیز به صورت $Yield = -1.8237(CWSI) + 2.1435$ تعیین گردید (شکل ۵). با توجه به شکل (۵)، حداکثر عملکرد دانه ماش سیاه در تیمار I₃ یا تیمار شاهد با متوسط شاخص تنش آبی ۰/۱۵ برابر ۱/۸۸ تن بر هکتار و حداقل عملکرد دانه در تیمار I₁ با متوسط



شکل ۴- ارتباط بین شاخص تنش آبی گیاه و عمق کل آبیاری



شکل ۵- ارتباط بین عملکرد دانه و شاخص تنش آبی گیاه

(1981) برای ماش سیاه در منطقه ارومیه قرار گرفت. مقادیر CWSI با استفاده از معادله (۴) برای چهار مرحله رشد گیاه در جدول (۱۰) ارائه گردیده است؛ لذا با استفاده از مقادیر این شاخص، روابط مورد نیاز جهت برنامه‌ریزی آبیاری ماش سیاه برای چهار مرحله از رشد گیاه استخراج گردید (جدول ۱۱).

برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از CWSI

هدف از CWSI ارائه یک روش ساده برای اندازه‌گیری تنش آبی گیاه و به عنوان یک ابزار برای برنامه‌ریزی آبیاری محصولات زراعی و باغی است (Chen *et al.*, 2010). با توجه به اینکه کمترین مقدار CWSI (۰/۱۵) در تیمار بدون تنش (شاهد) اتفاق افتاد؛ لذا این تیمار اساس برنامه‌ریزی آبیاری براساس روش تجربی *Idso et al.*

جدول ۱۱- روابط مورد استفاده برای برنامه ریزی آبیاری ماش سیاه در منطقه ارومیه

ماه	مراحل رشد	روابط برنامه ریزی
تیر	آغاز گلدهی-گلدهی	$(T_c - T_a)_C = 1/9498 - 0/1579 (AVPD)$
مرداد	تشکیل نیام	$(T_c - T_a)_C = 4/4395 - 0/1585 (AVPD)$
مرداد	پرشدن نیام و دانه	$(T_c - T_a)_C = 2/4676 - 0/0578 (AVPD)$
شهریور	رسیدگی فیزیولوژیکی	$(T_c - T_a)_C = 5/7532 - 0/1462 (AVPD)$

۷۵ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی (I_1 , I_2 و I_3) طی دوره رشد ماش سیاه محاسبه گردید. با استفاده از خطوط مبنای به دست آمده برای هر تیمار، مقادیر میانگین CWSI در طول فصل رشد ماش سیاه برای تیمارهای I_1 , I_2 و I_3 به ترتیب ۰/۳۷، ۰/۲۳ و ۰/۱۵ محاسبه گردید. رابطه بین CWSI و عمق کل آبیاری به صورت $CWSI = 0.58 + 0.0008(I)$ و رابطه بین عملکرد دانه ماش سیاه و CWSI نیز به صورت $Yield = -1.8237(CWSI) + 2.1435$ تعیین گردید که مقادیر ضریب تبیین (R^2) روابط به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۹۹ به دست آمد که دقت بالای مدل‌های رگرسیونی را نشان می‌دهد. به طور کلی، هر چقدر مقدار آب با اعمال تنش در طول دوره رشد گیاه کاهش پیدا کند، مقدار CWSI افزایش می‌یابد و در نتیجه با افزایش CWSI، مقدار عملکرد دانه محصول کاهش می‌یابد. در نهایت تیمار بدون تنش (I_3) اساس برنامه ریزی آبیاری قرار گرفت و روابطی برای تعیین زمان آبیاری با استفاده از CWSI در اقلیم ارومیه برای چهار مرحله از رشد ماش سیاه شامل آغاز گلدهی-گلدهی، تشکیل نیام، پرشدن نیام و دانه و رسیدگی فیزیولوژیکی به ترتیب $(T_c - T_a)_C = 1/9498 - 0/1579 (AVPD)$ ، $(T_c - T_a)_C = 4/4395 - 0/1585 (AVPD)$ ، $(T_c - T_a)_C = 2/4676 - 0/0578 (AVPD)$ و $(T_c - T_a)_C = 5/7532 - 0/1462 (AVPD)$ ارائه گردید.

REFERENCES

- Ahi, Y., Orta, H., Gündüz, A. and Gültaş, H. T. (2015). The canopy temperature response to vapor pressure deficit of grapevine cv. Semillon and Razaki. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 399-407.
- Ahmadi, H., Nasrolahi, A. H., Sharifipour, 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)
- Alizadeh, A. (2006). *Designing Irrigation Systems*. Imam Reza University Press: Mashhad. (In Farsi)
- Banayan, M. and Kochaki, A. (2009). *Agriculture Grain*. Jahad University Press: Ferdowsi University of Mashhad. (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.
- Chen, J., Lin, L. and Lü, G. (2010). An index of soil drought intensity and degree: An application on corn and a comparison with CWSI. *Journal of Agricultural Water Management*, 97(6), 865-871.
- Colak, Y. B., Yazar, A., Çolak, İ., Akça, H. and 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.

برای تشخیص زمان آبیاری (قبل از وارد شدن تنش به گیاه)، باید مقادیر AVPD را در ساعات ۱۱:۵۰ تا ۱۴:۵۰ اندازه‌گیری کرد و با جایگذاری در روابط به دست آمده برای هر مرحله رشد ماش سیاه (جدول ۱۱)، مقدار $(T_c - T_a)_C$ مجاز محاسبه گردد. مقدار $(T_c - T_a)_m$ در شرایط حداکثر تنش (ساعات ۱۱:۵۰ تا ۱۴:۵۰) با استفاده از دستگاه مادون قرمز دستی، قابل اندازه‌گیری و محاسبه می‌باشد. با مقایسه $(T_c - T_a)_m$ و $(T_c - T_a)_C$ می‌توان زمان آبیاری را تعیین کرد. اگر متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده از مقدار مجاز محاسبه شده بیشتر باشد زمان آبیاری گذشته است ولی اگر کمتر باشد یعنی زمان آبیاری هنوز فرا نرسیده است (Geiser et al., 1982). همچنین مقدار برابر بین $(T_c - T_a)_m$ و $(T_c - T_a)_C$ نشانگر انجام آبیاری در آن زمان است (Geiser et al., 1982; Verdinejad et al., 2012).

نتیجه‌گیری

برنامه ریزی آبیاری در تحقیق حاضر با استفاده از دماسنج مادون قرمز دستی و روش تجربی (Idso et al., 1981) در منطقه ارومیه برای ماش سیاه تحت رژیم‌های مختلف با روش آبیاری قطره‌ای سطحی و با هدف تعیین سریع و دقیق زمان آبیاری جهت جلوگیری از تنش آبی گیاه صورت گرفت. معادلات خطوط مبنای پایین و بالا و شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) برای سه تیمار ۵۰،

- 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.
- Erdem, Y., Erdem, T., Orta, A. H. and Okursoy, H. (2005). Irrigation scheduling for watermelon with crop water stress index (CWSI). *Journal of Central European Agriculture*, 6(4), 449-460.
- 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)
- Feiziasl, V., Fotovat, A., Astaraei, A., Lakzian, A. and Mousavi Shalmani, M. A. (2014). Determination of soil and plant water balance and its critical stages for rainfed wheat using crop water stress index (CWSI). *Journal of Water and Soil*, 28(4), 804-817. (In Farsi)
- Fernández, J. E. and Cuevas, M. V. (2010). Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(2), 135-151.
- Gardner, B. R. and Shock, C. C. (1989). Interpreting the Crop Water Stress Index. *American Society of Association Executives*, 89, 26-42.
- Geiser, K. M., Slack, D. C., Allred, E. R. and Stange, K. W. (1982). Irrigation scheduling using crop canopy-air temperature difference. *Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers*, 25(3), 689-694.
- Ghorbani, M., Bromand 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)
- 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.
- Irmak, S., Haman, D. Z. and Bastug, R. (2000). Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal*, 92(6), 1221-1227.
- Jackson, R. D., Idso, S. B., Reginato, R. J. and Pinter PJ, Jr. (1981). Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*, 17(4), 1133-1138.
- Kirkham, M. B. (2005). *Principles of Soil and Plant Water Relations*. Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- Keller, J. and Bliesner, R. D. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Van Nostr and Reinhold, New York.
- 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.
- Raes, D. (2009). The ET₀ 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)
- Sepaskhah, A. R. and Kashefipour, S. M. (1994). Relationships between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. *Journal of Agricultural Water Management*, 25(1), 13-21.
- Sepaskhah, A. R. and Ilampour, S. (1996). Relationships between yield, crop water stress index (CWSI) and transpiration of cowpea (*Vigna sinensis* L.). *Agronomie*, 16(5), 269-279.
- 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.
- Shahrokhnia, M. A., Zare, E. and 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. and Hansen, N. C. (2012). Infrared thermometry to estimate crop water stress index and water use of irrigated maize in Northeastern Colorado. *Remote Sensing*, 4(11), 3619-3637.
- Taghvaeian, S., Chávez, J. L., Bausch, W. C., DeJonge, K. C. and Trout, T. J. (2013). Minimizing instrumentation requirement for estimating crop water stress index and transpiration of maize. *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)
- Tanner, C. B. (1963). Plant Temperatures. *Agronomy Journal*, 55(2), 210-211.
- Urbano, C. C. (1989). The environmental debate: An industry issue. *American nurseryman (USA)*.
- Verdinejad, V. R., Besharat, S., Abghari, H. and Ahmadi, H. (2012). Estimation of maximum allowable deficit in different growth stages of fodder maize using canopy-air temperature difference. *Journal of Water and Soil*, 25(6), 1344-1352. (In Farsi)