



## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۹ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۸

صفحه‌های ۲۹-۴۲

### ارزیابی شاخص تنش آبی گیاه برای سیب‌زمینی تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی

کبری خیری شلمزاری<sup>۱</sup>، امیر سولتانی محمدی<sup>۲\*</sup>، سعید برومندنسب<sup>۳</sup>، بیژن حقیقتی بروجنی<sup>۴</sup>  
۱. دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.  
۲. دانشیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.  
۳. استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.  
۴. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات خاک و آب، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان چهارمحال و بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۳۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۴

#### چکیده

به منظور ارزیابی شاخص تنش آبی گیاه سیب‌زمینی، طرحی در سال ۱۳۹۷ به صورت اسپلیت-پلات در قالب بلوک‌های کامل تصادفی در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی شهرکرد اجرا شد. این آزمایش شامل دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در کرت‌های اصلی و چهار سطح آبیاری (آبیاری کامل، کم‌آبیاری ۸۰ و ۶۵ درصد و خشکی ۷۵ درصدی موضعی ریشه  $(PRD_{75})$ ) در کرت‌های فرعی، در سه تکرار برای سیب‌زمینی (رقم بورن) با طول دوره رشد ۱۲۰ روز، انجام گرفت. براساس نتایج به دست آمده، روند تغییرات مقدار شاخص تنش آبی گیاه در تیمارهای کم‌آبیاری برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب بین ۰/۱۶ تا ۰/۵۶ و ۰/۱۵ تا ۰/۴۹ به دست آمد. رابطه شاخص تنش آبی گیاه با عملکرد محصول (Y) برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به ترتیب برابر  $Y = -122.28 \text{ CWSI} + 82.38$  و  $Y = -101.61 \text{ CWSI} + 70.97$  به دست آمد. میزان عملکرد محصول تیمارهای  $FI$ ،  $RDI_{80}$ ،  $PRD_{75}$  و  $RDI_{65}$  در آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب ۵۲/۱، ۴۸، ۳۱/۶ و ۲۳/۴ تن در هکتار و برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۴۸/۶، ۴۴/۳، ۲۹/۶ و ۲۱/۸ تن در هکتار به دست آمد. حداکثر حجم آب مصرفی گیاه برای تیمار  $FI$  برابر ۴۵۹۰/۲ مترمکعب در هکتار به دست آمد. نتایج نشان داد جهت دستیابی به بالاترین عملکرد در روش آبیاری قطره‌ای سطحی، گیاه سیب‌زمینی باید در محدوده ۰/۱۶ تا ۰/۲ شاخص تنش آبی گیاه، آبیاری گردد.

**کلیدواژه‌ها:** برنامه‌ریزی آبیاری، دماسنج مادون قرمز، دمای پوشش سبز، کم‌آبیاری تنظیم‌شده، معادلات خطوط مبنا.

### Evaluation of Crop Water Stress Index (CWSI) for potato under different irrigation regimes in surface and subsurface drip irrigation systems

Kobra Kheiri Shalamzari<sup>1</sup>, Amir Soltani Mohammadi<sup>2\*</sup>, Saied Boroomand Nasab<sup>3</sup>, Bijan Haghghati Boroujeni<sup>4</sup>

1. Ph.D. Student of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2. Associate professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3. Professor of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

4. Assistant Professor, Soil and Water Research Department, Agriculture and Natural Resources Research and Education Center of Chaharmahal and Bakhtiari Province, AREEO (Agricultural Research, Education and Extension Organization), Shahrekord, Iran.

Received: May 04, 2019

Accepted: September 22, 2019

#### Abstract

In order to evaluate the Crop Water Stress Index (CWSI) of potato crop, a split-plot design was carried out in a randomized complete block design in Shahrekord Agricultural and Natural Resources Research Center in the growing season of 2018. This experiment consists of two methods of irrigation (surface and subsurface drip irrigation) in the main plots and four irrigation levels (Full Irrigation, FI; Regulated Deficit Irrigation, RDI-80; Regulated Deficit Irrigation, RDI-65; and Partial Root-zone Drying PRD-75) in subplots, in three replications for potato (*Bourren* cultivar) with a period of growth of 120 days. Based on the results, the trend of changes in the CWSI of the crop in irrigation treatments for surface and subsurface drip irrigation was between 0.16 and 0.56 and 0.15-0.49, respectively. The relationship between CWSI and yield (Y) for surface and subsurface drip irrigation was  $Y = -122.28 \text{ CWSI} + 82.38$  and  $Y = -101.61 \text{ CWSI} + 70.97$ , respectively. The yield of crop for treatments FI,  $RDI_{80}$ ,  $PRD_{75}$  and  $RDI_{65}$  in surface drip irrigation was 52.1, 48, 31.6, and 23.4  $\text{Ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively and for subsurface drip irrigation 48.6, 44.3, 29.6 and 21.8  $\text{Ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ , respectively. The maximum amount of water consumed for treatment FI was  $4590.2 \text{ m}^3\cdot\text{ha}^{-1}$ . The results showed that in order to achieve the highest yield in subsurface drip irrigation, the potato crop should be irrigated in the range of 0.16 to 0.2 of the CWSI.

**Keywords:** Base lines equations, Canopy temperature, Infrared thermometer, Irrigation scheduling, Regulated Deficit irrigation.

## مقدمه

سامانه آبیاری قطره‌ای زیرسطحی میزان رطوبت خاک در منطقه ریشه را به‌طور یکسان تأمین می‌کند، درحالی‌که در خاکی با سطح خشک، کمبود آب به‌دلیل محدودیت در نفوذ عمقی، منجر به کاهش تبخیر و تعرق و متعاقباً کاهش در عملکرد محصول می‌شود (۱۲). از این‌رو در این شرایط تخمین میزان تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری مناسب بر پایه واکنش گیاهان به تنش آبی در مراحل مختلف رشد بسیار مهم است (۳۰). شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)<sup>۱</sup> یکی از شاخص‌های مهم گیاهی است که بیانگر میزان تنش وارده به گیاه بوده و روشی مناسب برای برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط کمبود آب می‌باشد (۱۳ و ۱۶). برای درک بهتر شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو (۲۱)، ابتدا به معرفی خط مبنای پایینی و بالایی تنش اقدام می‌گردد تا براساس این دو خط مبنای شاخص تنش آبی گیاه قابل تعریف باشد. خط مبنای پایینی تنش یک خصوصیت ویژه هر گیاه بوده و معرف شرایطی است که در آن، گیاه از نظر تأمین آب از ناحیه ریشه با هیچ محدودیتی روبرو نبوده و میزان تبخیرپذیری هوا نیز در محدوده حداکثر مقدار خود می‌باشد. بنابراین شدت تعرق گیاه در این حالت برابر با شدت تعرق پتانسیل است. این خط مبنای برای هر گیاه بیانگر این واقعیت است که در هنگام تعرق پتانسیل، هر یک از گیاهان به اندازه مشخص و معینی در مقابل تغییرات محیطی از خود عکس‌العمل نشان داده و لذا مقادیر تعرق انجام‌شده در آن‌ها متفاوت است. ایدسو خط مبنای پایینی تنش را به‌صورت زیر معرفی کرد (۲۲):

$$\text{رابطه (۱)} \quad (T_c - T_a)_{l,l} = a - b(VPD)$$

در این رابطه  $(T_c - T_a)_{l,l}$ : اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا در شرایط خط مبنای پایینی (°C)، a و

b: ضرایب رابطه خطی و VPD: کمبود فشار بخار هوا (mbar) می‌باشد که به‌منظور محاسبه آن از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{رابطه (۲)} \quad VPD = 10 \times \exp \left[ \frac{16.78T - 116.9}{T + 237.3} \right] \left( 1 - \frac{RH}{100} \right)$$

در این رابطه T: دمای هوا (°C) و RH: رطوبت نسبی برحسب درصد است. خط مبنای بالایی و یا خط تنش کامل معرف حداکثر مقداری است که می‌توان برای اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوای مجاور انتظار داشت، به‌طوری‌که وقتی اختلاف دمای گیاه و هوا به این حد افزایش یابد عمل تعرق به‌طور کامل متوقف خواهد شد. همچنین طبق نظر ایدسو برای توقف کامل تعرق، لازم است فشار بخار محیط به اندازه شیب فشار بخار (VPG)<sup>۳</sup> افزایش یافته تا بتواند با گرادیان فشار بخار مقابله نماید. لذا برای محاسبه خط مبنای بالایی تنش می‌توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\text{رابطه (۳)} \quad (T_c - T_a)_{u,l} = a + b|VPG|$$

در این رابطه  $(T_c - T_a)_{u,l}$ : اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا در شرایط خط مبنای بالایی (°C) و VPG: شیب فشار بخار اشباع (mbar) است. با توجه به این‌که هر سه پارامتر طرف راست این معادله قابل محاسبه هستند، لذا خط مبنای بالایی تنش را به‌صورت رابطه (۴) نیز می‌توان در نظر گرفت که در آن h مقدار ثابتی بر حسب درجه سانتی‌گراد و مستقل از فشار بخار است (۲۲).

$$\text{رابطه (۴)} \quad (T_c - T_a)_{u,l} = h$$

به‌ازای مقدار معینی از کمبود فشار بخار آب، شاخص تنش آبی گیاه عبارت است از نسبت بین اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوای اندازه‌گیری‌شده از خط مبنای پایینی، به کل تفاوت ممکن به‌ازای همان مقدار کمبود فشار

2. Vapor Pressure Deficit  
3. Vapor Pressure Gradient

1. Crop Water Stress Index

اقلیم نیمه‌مرطوب ترکیه، در برنامه‌ریزی آبیاری برای سویا با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه، نتایج حاکی از این بود که به‌ازای مقدار میانگین فصلی CWSI برابر ۰/۱۷، روند کاهشی در محصول مشاهده شد (۱۴). در بررسی شاخص تنش آبی گیاه گوجه‌فرنگی در جنوب برزیل، تحت آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در پنج رژیم متفاوت آبیاری، حداقل مقدار شاخص برای تیمار آبیاری ۱۳۵ درصد تأمین تبخیر- تعرق، در فاصله زمانی ۶۴ روز بعد از کاشت محصول برابر ۰/۲۴ به‌دلیل تأمین مناسب رطوبت مورد نیاز گیاه در مرحله رشد و فواصل بین آبیاری‌ها، گزارش شد (۱۵). نتایج تحقیقات در ایران نیز نشان از عملکرد مناسب این روش دارد (۶، ۴، ۹، ۷، ۸، ۳، ۲ و ۱). تغییرات زیاد CWSI در برابر افزایش سطوح کم‌آبیاری در طول فصل رشد برای بادمجان در شرایط گلخانه‌ای و مزرعه‌ای (۱۹)، افزایش ۰/۱۵ درصدی شاخص تنش آبی گیاه به‌ازای هر واحد کاهش آب آبیاری در تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی (۲) و مقدار آستانه  $CWSI=0/51$  برای چغندر قند (۱۱)، حد آستانه ۰/۴۱ و مقدار متوسط ۰/۲۲ برای شاخص تنش آبی گیاه در درختان پسته (۵) در شرایط اقلیمی ایران گزارش شد. نتایج نشان می‌دهد که با تعیین مقدار آستانه شاخص تنش آبی گیاه می‌توان برنامه‌ریزی آبیاری را با توجه به اهداف مختلف مدیریتی اعمال کرد. این شاخص تاکنون در ایران روی گیاه سبزمینی جهت اعمال مدیریت برنامه‌ریزی آبیاری در دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، مورد ارزیابی قرار نگرفته است. لذا اهداف این تحقیق بررسی شاخص تنش آبی گیاه برای سبزمینی در مراحل مختلف رشد تحت مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری برای دو روش آبیاری فوق، تعیین روابط شاخص با عملکرد محصول و رطوبت خاک و محاسبه مقادیر آستانه CWSI جهت دستیابی به حداکثر

بخار هوا. لذا این مقدار مطابق معادله (۵) بوده و تغییرات شاخص تنش آبی گیاه بین صفر الی یک متغیر است (۲۲):

$$CWSI_i = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{l,l}}{(T_c - T_a)_{u,l} - (T_c - T_a)_{l,l}} \quad \text{رابطه (۵)}$$

در رابطه فوق  $(T_c - T_a)_m$ : اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا روز قبل از آبیاری بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که با افزایش مقدار شاخص به ۰/۶۸ و ۰/۸۱ به‌ترتیب برای آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای، عملکرد غده کاهش یافت (۱۷). در شرق مدیترانه با بررسی شاخص تنش آبی گیاه برای بادمجان تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی، تغییرات روزانه شاخص تنش آبی برای دو سیستم آبیاری از ۰/۱۸ تا ۰/۵۳ محاسبه شد. همچنین با ارائه روابطی بین شاخص و عملکرد محصول، ضمن بیان بیش‌ترین همبستگی برای تیمار کامل آبیاری، بهترین زمان آبیاری را در مقادیر ۰/۱۸ تا ۰/۲۰ شاخص تنش آبی گیاه گزارش کردند (۱۲). مقدار آستانه CWSI برای فلفل قرمز جهت تولید حداکثری محصول به‌ازای تیمار آبیاری کامل، در روش‌های آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای به‌ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۳۸ گزارش شد (۲۴). در یک تحقیق میزان تنش در هریک از دوره‌های رشد بادام زمینی، محاسبه و مقدار CWSI در مراحل مختلف بین ۰/۴۵ تا ۰/۶۴ به‌دست آمد (۲۳). به‌منظور برنامه‌ریزی آبیاری قطره‌ای کلم بروکلی تحت پنج سطح آبیاری با فواصل هفت روز، از شاخص تنش آبی گیاه استفاده شد، نتایج نشان داد که در  $CWSI=0/51$ ، برای قبل از آبیاری، بین حداکثر عملکرد محصول تولیدشده با شاخص تنش آبی گیاه در رابطه نمایی، همبستگی بالایی بین آن‌ها برقرار است که این مطلب خود مؤید کلیدی بودن شاخص تنش آبی گیاه جهت برنامه‌ریزی آبیاری است (۱۸). در شرایط

دور آبیاری برای رقم بون سیب‌زمینی بودند. مراحل مختلف رشد گیاه سیب‌زمینی در جدول (۳) ارائه شده است. در طول فصل رشد بارندگی مؤثری رخ نداد. میزان آب آبیاری در هر نوبت آبیاری با اندازه‌گیری رطوبت خاک در روز قبل از آبیاری و براساس اختلاف رطوبت بین خاک و حد ظرفیت زراعی در تیمار آبیاری کامل، برآورد شد. برای محاسبه عمق خالص آب آبیاری از رابطه (۶) استفاده شد:

$$d_n = (\theta_{fc} - \theta_i) \times Z \times p_b \quad (6)$$

که در آن  $\theta_{fc}$ : درصد رطوبت جرمی خاک در حالت ظرفیت زراعی،  $\theta_i$ : درصد رطوبت جرمی خاک باقیمانده در خاک،  $Z$ : عمق ریشه (m) و  $p_b$ : جرم مخصوص ظاهری خاک ( $g/cm^3$ ) و  $d_n$ : عمق خالص آبیاری بر حسب متر می‌باشد. برای این منظور در اعماق ۰-۲۵ و ۵۰-۲۵ سانتی‌متری خاک، با دستگاه TDR در روزهای قبل از آبیاری رطوبت خاک اندازه‌گیری می‌شد. دور آبیاری در دو روش آبیاری با توجه به دور آبیاری مرسوم منطقه برای گیاه سیب‌زمینی، شش روزه در نظر گرفته شد به این صورت که در تیمار آبیاری کامل همیشه در زمان آبیاری مقدار رطوبت خاک در حد سهل‌الوصول بود. عملیات شخم و آماده‌سازی زمین به‌طور یکنواخت انجام شد و دو نمونه مرکب خاک از عمق‌های ۰-۳۰ و ۳۰-۶۰ سانتی‌متری تهیه و در آزمایشگاه تحقیقات آب و خاک خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۲). ابعاد کرت‌ها در دو سامانه آبیاری  $10 \times 4$  مترمربع بود. در روش آبیاری قطره‌ای سطحی از نوارهای آبیاری به طول ۱۰ متر که دارای قطر ۱۶ میلی‌متر و فاصله قطره‌چکان ۲۰ سانتی‌متر بود استفاده شد. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی از لوله‌های قطره‌چکان دار در طول ۱۰ متر که فاصله قطره‌چکان‌ها ۲۰ سانتی‌متر بود، در عمق ۲۰ سانتی‌متری زیر خاک استفاده شد. میزان دبی خروجی از

عملکرد می‌باشد. در این تحقیق اثر رژیم‌های مختلف کم‌آبیاری تنظیم‌شده و آبیاری بخشی از ناحیه ریشه در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی روی تغییرات شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) مورد بررسی قرار گرفت.

## مواد و روش‌ها طرح آزمایش

این تحقیق در سال ۱۳۹۷ از اواخر خردادماه لغایت اواخر مهرماه به مدت پنج ماه در ایستگاه تحقیقاتی چهار تخته شهرکرد واقع در پنج کیلومتری شرق شهرکرد اجرا گردید. این منطقه دارای مختصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۸ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۵۵ دقیقه شرقی با ارتفاع ۲۰۹۰ متر از سطح دریا و با اقلیم نیمه‌مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد است. میانگین درازمدت بارندگی و درجه حرارت سالانه منطقه به ترتیب ۳۲۰ میلی‌متر و ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. میانگین پارامترهای هواشناسی در دوره رشد در جدول (۱) و خصوصیات خاک مزرعه در جدول (۲) ارائه شده است. به‌منظور بررسی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) روی رقم بون سیب‌زمینی، تحت رژیم‌های متغیر آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی، آزمایشی به صورت اسپلیت-پلات در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد آزمایش در این تحقیق شامل دو روش آبیاری، چهار تیمار کم‌آبیاری و در کل ۲۴ کرت آزمایشی بود. روش‌های آبیاری به‌عنوان کرت‌های اصلی شامل روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی و تیمارهای فرعی آبیاری شامل:  $FI = 100\%$  تأمین ۱۰۰ درصد کمبود رطوبت خاک،  $RDI_{80} = 80\%$  تأمین ۸۰ درصد کمبود رطوبت خاک،  $RDI_{65} = 65\%$  تأمین ۶۵ درصد کمبود رطوبت خاک و  $PRD_{75} = 75\%$  تأمین ۷۵ درصد کمبود رطوبت خاک به‌صورت آبیاری یک در میان ردیف‌های کشت‌شده در هر

ارزیابی شاخص تنش آبی گیاه برای سب‌زمینی تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی

روی لوله‌های پلی‌اتیلن آب تعبیه شده بود، انجام شد. عملیات کاشت در دهه سوم خردادماه انجام گرفت. فاصله کاشت غده‌ها ۲۵ سانتی‌متر بود. برداشت در اواخر مهرماه با حذف حاشیه‌ها انجام گرفت.

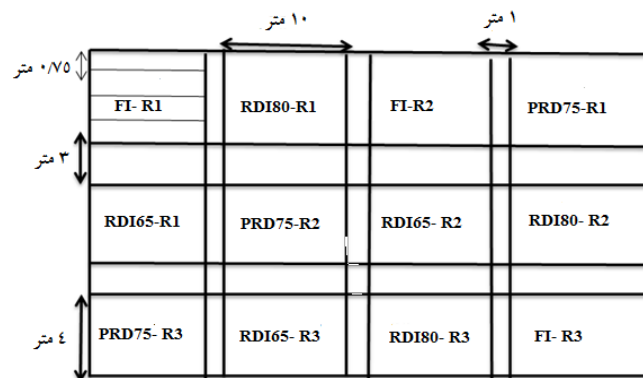
نوار تیپ و لوله‌های قطره‌چکان‌دار برابر ۱/۷۵ لیتر در ساعت بود. نقشه شماتیک طرح در شکل (۱) نشان داده شده است. اندازه‌گیری و کنترل مقدار آب آبیاری در هر تیمار توسط شیرهای قطع و وصل و کنتورهای حجمی که

جدول ۱. میانگین پارامترهای هواشناسی در دوره رشد گیاه سب‌زمینی در سال ۱۳۹۷

ماه	دمای حداکثر (درجه سانتی‌گراد)	دمای حداقل (درجه سانتی‌گراد)	رطوبت نسبی (درصد)	سرعت باد (متر بر ثانیه)	بارندگی (میلی‌متر)	تبخیر ازتشت (میلی‌متر بر روز)
خرداد	۳۱/۴۳	۱۱/۲۴	۲۳/۴	۲/۶۷	۰	۸/۹۷
تیر	۳۳/۸۶	۱۴/۸۳	۱۹/۵۱	۳/۰۹	۰	۱۰/۸۵
مرداد	۳۴	۱۵/۵۳	۲۳/۳۰	۳/۱۰	۰	۱۰/۸۹
شهریور	۳۲/۲۷	۱۴/۳۲	۲۳/۶۰	۲/۶۰	۰	۹/۷۱

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

عمق نمونه (سانتی‌متر)	بافت خاک	$EC_e$ (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	O.C (%)	Pava (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	Kava (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	N (%)	$\rho_b$ (گرم بر سانتی‌مترمکعب)	F.C (درصد رطوبت وزنی)	P.W.P (درصد رطوبت وزنی)
۰-۳۰	لوم	۱/۳۱	۷/۷۵	۰/۶۶	۱۲/۷۰	۲۶۴	۰/۰۵	۱/۳۳	۲۳/۸۵	۹/۰۱
۳۰-۶۰	لوم-سیلتی	۰/۹۳	۷/۷۶	۰/۴۰	۹/۵۰	۵۶۴	۰/۰۳	۱/۴۱	۲۵/۲۰	۸/۳



شکل ۱. نقشه شماتیک طرح آزمایشی

جدول ۳. طول مراحل مختلف رشد گیاه سب‌زمینی در فصل کشت

مرحله رشد	شروع کشت	ابتدایی	توسعه	میانی	نهایی
طول دوره رشد (روز)	-	۲۹	۲۳	۲۸	۱۴
تاریخ نمونه‌برداری	۲۵ خرداد ۹۷	۲۳ تیر ۹۷	۱۵ مرداد ۹۷	۱۲ شهریور ۹۷	۲۶ شهریور ۹۷

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۹ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۸

## دماسنج مادون قرمز

برای محاسبه شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو نیاز به اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه است. به این منظور از دماسنج مادون قرمز استفاده شد. دمای اندازه‌گیری شده توسط دستگاه، نشان‌دهنده دمای قسمت‌هایی از برگ است که در زاویه دید دستگاه قرار دارد. این دستگاه تشعشع خارج‌شده از هدف را اندازه‌گیری می‌کند (۲۵). برای تعیین خط مبنای پایینی تنش، درجه حرارت برگ گیاه، در روزهای بعد از آبیاری در محدوده تیمارهای کم‌آبیاری هر یک ساعت یک‌بار از ساعت ۸ صبح الی ۱۴ بعدازظهر توسط دماسنج مادون قرمز از چهار جهت بالا، پایین، چپ و راست گیاه اندازه‌گیری شد. دمای خشک و رطوبت نسبی از ایستگاه هواشناسی واقع در مرکز تحقیقات تهیه شد. با استفاده از این داده‌ها، خط رگرسیونی بین پارامترهای  $(T_c - T_a)$  و VPD براساس رابطه (۱) رسم گردید. با محاسبه شیب فشار بخار اشباع هوا بر حسب میلی‌بار و ضرایب (a) و (b) تعیین‌شده از خط مبنای پایینی، خط مبنای بالایی تنش تعیین شد. به‌منظور تعیین شاخص تنش آبی گیاه، درجه حرارت برگ گیاه در روزهای قبل از آبیاری نیز در محدوده چهار تیمار کم‌آبیاری، هر ساعت یک‌بار از ساعت ۱۱ صبح الی ۱۴ بعدازظهر توسط دستگاه دماسنج مادون قرمز از چهار جهت بالا، پایین، چپ و راست گیاه اندازه‌گیری شد و دمای خشک و رطوبت نسبی نیز از ایستگاه هواشناسی تهیه گردید. اندازه‌گیری دمای برگ در خرداد ماه به‌دلیل کوچک‌بودن برگ گیاه و وسعت اندازه‌گیری دماسنج (اندازه‌گیری دمای سطح خاک) انجام نگرفت. اندازه‌گیری‌های مربوط به دمای پوشش سبز گیاه در روزهای قبل و بعد از آبیاری از ۲۳ تیرماه تا ۲۶ شهریورماه انجام شد. هم‌زمان با اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه در روزهای قبل و بعد از آبیاری، رطوبت خاک نیز از دو عمق ۲۵-۰ و ۵۰-۲۵ سانتی‌متری، برای هر یک از تیمارها اندازه‌گیری شد.

هم‌چنین مقدار عملکرد نهایی محصول، تحت هر یک از تیمارها برای هر دو روش آبیاری در پایان فصل رشد تعیین گردید.

## نتایج و بحث

### خطوط مبنای پایینی و بالایی شاخص تنش آبی گیاه

با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در طول فصل کشت، محاسبات برای رسم خطوط مبنای پایینی در مراحل مختلف رشد گیاه سیب‌زمینی (ابتدایی، توسعه، میانی و نهایی) در روزهای بعد از آبیاری انجام شد و رابطه رگرسیونی بین اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا در مقابل کمبود فشار بخار هوا برای تعیین خط مبنای پایینی در تیمار آبیاری کامل در دو روش آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی رسم شد که نمودار آن‌ها به همراه خط مبنای بالا در شکل (۲) ارائه شده است.

ارتباط خطی بین کمبود فشار بخار هوا و اختلاف دمای پوشش سبز و هوا بیان‌گر آن است که با افزایش کمبود فشار بخار هوا (که هم‌زمان با افزایش دمای هوا صورت می‌گیرد) اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا نیز افزایش می‌یابد که در نهایت گیاه خنک نگه داشته می‌شود. با در نظر گرفتن این مطلب و با توجه به شکل (۲)، همان‌طور که مشاهده می‌شود خط مبنای پایینی و بالا در تیمار آبیاری کامل برای دو روش آبیاری در مراحل مختلف رشد گیاه، با توجه به هم‌زمانی آبیاری، یکسان نیست. با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام‌شده و روابط (۱) و (۳)، معادله‌های خط مبنای پایینی تنش به روش ایدسو در کل فصل کشت، برای تیمارهای FI، RDI<sub>80</sub>، PRD<sub>75</sub> و RDI<sub>65</sub> در آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب (روابط ۷ تا ۱۰) و برای آبیاری قطره‌ای زیر سطحی (روابط ۱۱ تا ۱۴) محاسبه شد:

$$\text{رابطه (۷)} \quad (T_c - T_a)_{ll} = 1.194 - 0.182VPD$$

$$\text{رابطه (۸)} \quad (T_c - T_a)_{ll} = 1.622 - 0.187VPD$$

## مدیریت آب و آبیاری

ارزیابی شاخص تنش آبی گیاه برای سبب‌زمینی تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی

رابطه (۱۲)  $(T_c - T_a)_{ll} = 2.099 - 0.201VPD$

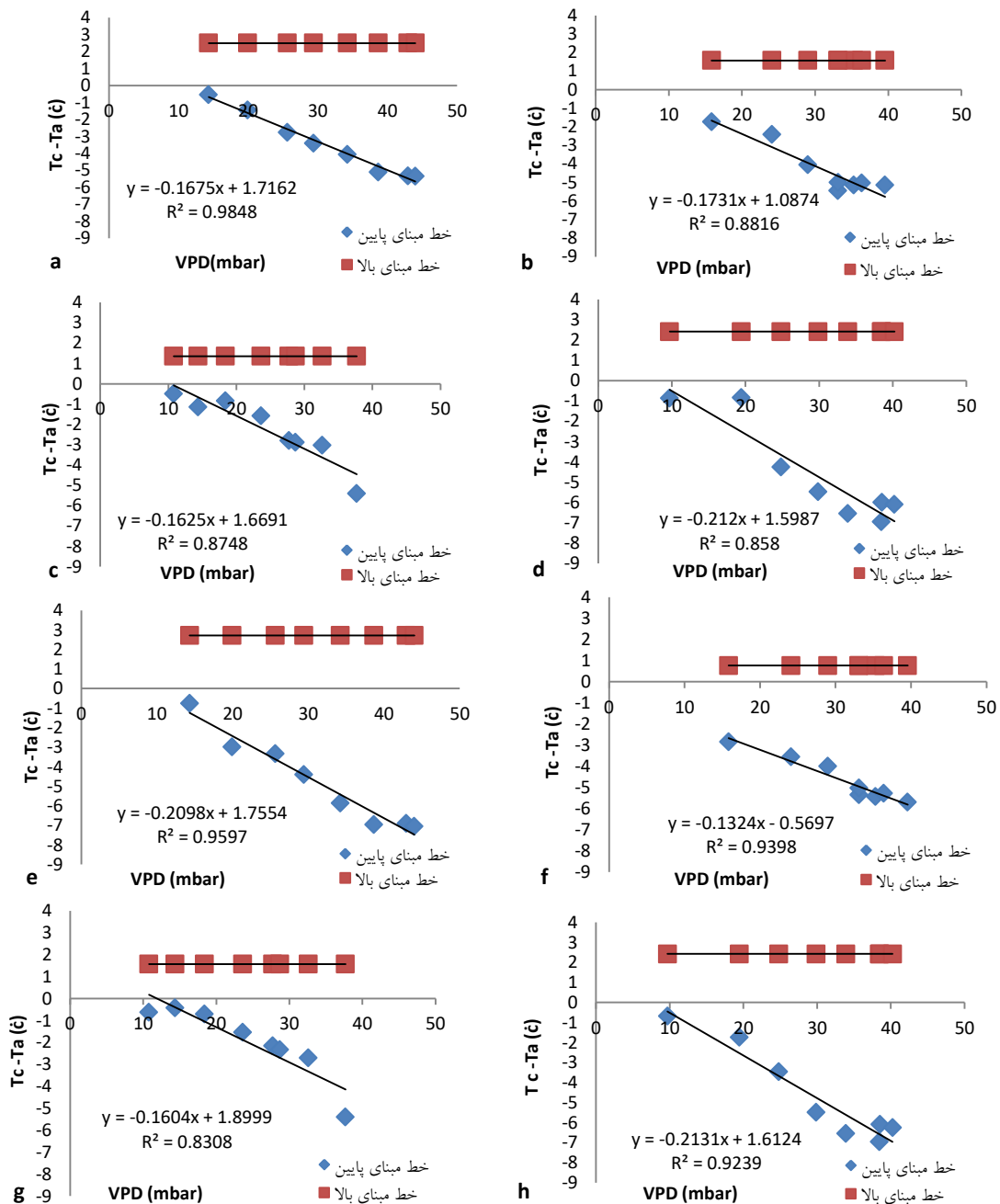
رابطه (۹)  $(T_c - T_a)_{ll} = 1.465 - 0.178VPD$

رابطه (۱۳)  $(T_c - T_a)_{ll} = 1.611 - 0.176VPD$

رابطه (۱۰)  $(T_c - T_a)_{ll} = 1.273 - 0.169VPD$

رابطه (۱۴)  $(T_c - T_a)_{ll} = 1.663 - 0.175VPD$

رابطه (۱۱)  $(T_c - T_a)_{ll} = 1.993 - 0.211VPD$

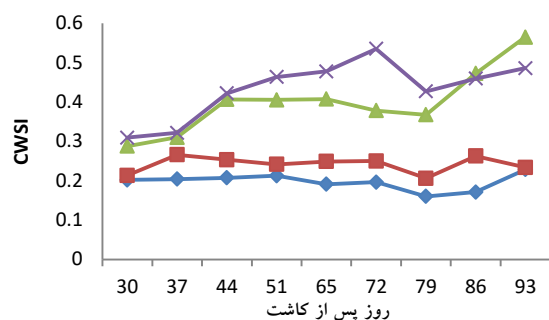


شکل ۲. نمودار خط مبنای پایینی و بالایی تحت تیمار FI برای آبیاری قطره‌ای سطحی در مرحله ابتدایی رشد (a)، مرحله توسعه (b)، مرحله میانی (c) و مرحله نهایی (d) و برای آبیاری زیرسطحی در مرحله ابتدایی رشد (e)، مرحله توسعه (f)، مرحله میانی (g) و مرحله نهایی (h)

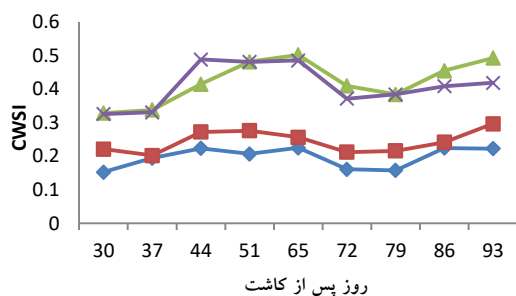
## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۹ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۸

در روزهای بعد از کاشت سیب‌زمینی تحت تیمارهای کم‌آبیاری برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی در شکل (۳) نشان داده شده است.



a



b

شکل ۳. تغییرات شاخص تنش آبی گیاه سیب‌زمینی در طول فصل رشد تحت آبیاری قطره‌ای سطحی (a) و قطره‌ای زیرسطحی (b)

مقادیر CWSI ضمن تغییرات روزانه برای تمامی تیمارها، با افزایش تنش آبی روند افزایشی نشان داد. بیش‌ترین مقدار تغییرات روزانه CWSI در تیمارهای کم‌آبیاری ۶۵ درصد و آبیاری ۷۵ درصدی بخشی ناحیه ریشه، در دو سیستم آبیاری مشاهده شد. در سیستم آبیاری قطره‌ای سطحی، محدوده مقادیر CWSI، بین ۰/۱۶ تا ۰/۵۶ و برای سیستم آبیاری قطره‌ای زیر سطحی از ۰/۱۵ تا ۰/۴۹ متغیر بود. مقادیر شاخص تنش آبی گیاه سیب‌زمینی برای مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و نهایی

همان‌طور که دیده می‌شود معادله‌های خط حداقل تنش از نظر ظاهری شبیه هم هستند، اما ضریب زاویه و عرض از مبدأ آن‌ها یکسان نیست پس می‌توان گفت که در شرایط اقلیمی یکسان برای یک گیاه خاص مثل سیب‌زمینی که تحت تیمارهای متفاوت آبیاری می‌باشد نمی‌توان معادله واحدی پیشنهاد نمود. با استفاده از داده‌های هواشناسی روز بعد از آبیاری و بسط خط مبنای پایینی به اندازه شیب فشار بخار از ناحیه منفی محور افقی کمبود فشار بخار هوا و رسم خطی موازی محور افقی، موقعیت خط مبنای بالایی تیمارها برای کل فصل کشت، تحت آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی به دست آمد. بیش‌ترین مقدار خط مبنای بالایی برای آبیاری قطره‌ای سطحی در تیمار FI برابر ۳/۱۸ و در آبیاری قطره‌ای زیر سطحی برابر ۲/۹۶ به دست آمد. مقادیر خط مبنای بالایی تنش برای تیمارهای  $RDI_{80}$ ،  $RDI_{65}$  و  $PRD_{75}$  در آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب برابر ۲/۷۶، ۲/۰۵ و ۱/۷۶ درجه سانتی‌گراد و برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۲/۵۱، ۱/۹۰ و ۱/۶۷ درجه سانتی‌گراد حاصل شد. برای سویا حد مبنای بالا با مفهوم حداکثر تنش برابر ۳/۲ درجه سانتی‌گراد گزارش شد (۱۴). حداکثر دمای ۴/۵ درجه سانتی‌گراد برای کلم بروکلی (۱۸) و حداکثر دمای ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد برای سیب‌زمینی (۱۷) به عنوان خط مبنای بالا تعیین شد. هم‌چنین در تیمار شوری ۵ دسی‌زیمنس بر متر برای ذرت تابستانه مقدار ۲/۶ درجه سانتی‌گراد (۷)، برای سویا محدوده ۱/۰۶ تا ۳/۳۴ درجه سانتی‌گراد (۲)، برای گندم محدوده ۶/۲ درجه سانتی‌گراد (۳) و برای گندم ۶ درجه سانتی‌گراد (۶) را برای خطوط مبنای بالا به دست آوردند. با معلوم‌بودن معادله‌های خط مبنای بالایی و پایینی و محاسبه میانگین اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا در روزهای قبل از آبیاری، شاخص تنش آبی گیاه با توجه به رابطه (۵) محاسبه شد. تغییرات شاخص تنش آبی گیاه



ارزیابی شاخص تنش آبی گیاه برای سبب‌زمینی تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی

میانی و نهایی رشد گیاه را به ترتیب ۰/۴۲، ۰/۳۷ و ۰/۲۹ برآورد کردند (۱). برای گیاه پنبه در پاکستان در شرایط نیمه‌خشک، با اعمال پنچ تیمار آبیاری (بدون آبیاری، آبیاری در مرحله سبزی‌نگی، آبیاری در مرحله سبزی‌نگی و گل‌دهی، آبیاری در مرحله سبزی‌نگی، گل‌دهی و غوزه‌دهی و آبیاری در تمام مراحل رشد) مقادیر فصلی شاخص تنش آبی گیاه را در محدوده ۰/۲۴ تا ۰/۷۹ به ترتیب برای تیمارهای آبیاری در تمام مراحل رشد و بدون آبیاری به دست آوردند (۲۹). با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه، به منظور به دست آوردن زمان مناسب آبیاری در مراحل توسعه نیشکر، اختلاف دمای سطح پوشش سبز گیاه و هوای مجاور در محدوده ۲ تا ۵ درجه سانتی‌گراد اعلام شد (۱۹). در منطقه واشنگتون برای درختان سیب نیز مقدار شاخص ۰/۳۶ به عنوان حد آستانه مناسب جهت آبیاری معرفی شد (۲۶). در اقلیم آب‌وهوای سرد و نیمه‌خشک برای گیاه سویا مقادیر شاخص تنش آبی گیاه تحت تیمارهای آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ۶۰ و ۴۰ درصد نیاز آبی کشت، به ترتیب برابر ۰/۱۸، ۰/۳۷، ۰/۶۱ و ۰/۸۴ گزارش شد (۲). هم‌چنین مقدار متوسط شاخص تنش آبی گیاه برای درختان پسته تحت روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی در تیمارهای آبیاری با دور آبیاری ۳ و ۱۴ روزه را به ترتیب برابر ۰/۵ و ۰/۴۹ به دست آوردند (۵).

برای تیمارهای  $RDI_{80}$ ،  $PRD_{75}$  و  $RDI_{65}$  برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی در جدول (۴) ارائه شده است. میانگین  $CWSI$  کل فصل برای تیمارهای  $FI$ ،  $RDI_{80}$ ،  $PRD_{75}$  و  $RDI_{65}$  در آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب ۰/۲۴، ۰/۲۷، ۰/۴۳ و ۰/۴۶ به دست آمد. در آبیاری قطره‌ای زیرسطحی، میانگین  $CWSI$  کل فصل برای تیمارهای  $FI$ ،  $RDI_{80}$ ،  $PRD_{75}$  و  $RDI_{65}$  به ترتیب ۰/۲۲، ۰/۲۵، ۰/۴۲ و ۰/۴۷ حاصل شد. جدول (۴) نشان می‌دهد که در مرحله توسعه رشد گیاه سبب‌زمینی، برای تیمار  $FI$  مقدار  $CWSI$  در دو سامانه آبیاری برابر ۰/۲۱ است، در حالی که در همین مرحله در تیمار  $RDI_{65}$  کاهش ۳۵ درصد آب آبیاری نسبت به آبیاری کامل، باعث افزایش ۵۷ درصدی مقدار شاخص  $CWSI$  در دو سامانه آبیاری شد. میانگین فصلی  $CWSI$ ، در آبیاری قطره‌ای و آبیاری جویچه‌ای برای فلفل قرمز در منطقه مدیترانه‌ای ترکیه، بین ۰/۱۵ تا ۰/۸۲ و ۰/۲۹ تا ۰/۸۹ به ترتیب برای تیمارهای آبیاری کامل و کم آبیاری ۵۰ درصدی به صورت آبیاری بخشی از ناحیه ریشه گزارش شده است (۲۴). مقادیر فصلی  $CWSI$  برای فلفل قرمز در شرایط گلخانه‌ای بین ۰/۰۵ تا ۰/۹۷ اعلام شد (۱۰). مقادیر شاخص  $CWSI$  برای زمان‌بندی آبیاری سویا جهت دستیابی به حداکثر بهره‌وری آب در مراحل توسعه،

جدول ۴. مقادیر شاخص تنش آبی گیاه ( $CWSI$ ) تحت تیمارهای  $RDI_{80}$ ،  $PRD_{75}$  و  $RDI_{65}$  برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی

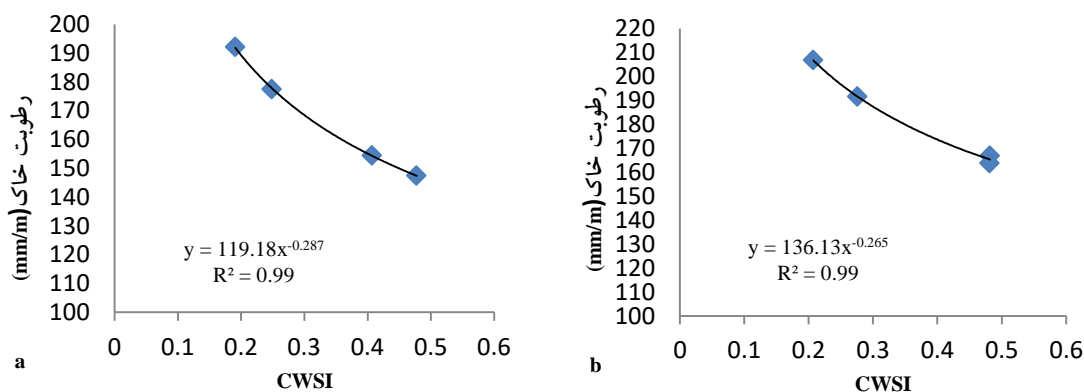
$RDI_{65}$	$PRD_{75}$	$RDI_{80}$	$FI$	$RDI_{65}$	$PRD_{75}$	$RDI_{80}$	$FI$	مرحله تیمار
آبیاری قطره‌ای زیر سطحی				آبیاری قطره‌ای سطحی				
۰/۳۲	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۱۵	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲۰	ابتدایی
۰/۴۸	۰/۴۸	۰/۲۷	۰/۲۱	۰/۴۶	۰/۴۰	۰/۲۴	۰/۲۱	توسعه
۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۲۱	۰/۱۵	۰/۴۲	۰/۳۶	۰/۲۰	۰/۱۶	میانی
۰/۴۲	۰/۴۹	۰/۲۹	۰/۲۲	۰/۴۹	۰/۵۶	۰/۲۳	۰/۲۲	نهایی

متأثر بودن رطوبت خاک از برخی عوامل مانند ابری بودن هوا به صورت متناوب، تغییر در خاک زراعی و فاکتورهای زراعی در منطقه نیمه خشک مورد مطالعه، گزارش کردند (۲۷). هم‌چنین بین شاخص و میزان کمبود رطوبت خاک در شرایط ابرناکی هوا برای درختان سیب، میزان همبستگی ( $R^2 = 0.39$ ) اعلام شد (۲۶).

جدول (۵) میزان حجم آب مصرفی گیاه سیب‌زمینی در طول فصل کشت را برای تیمارهای آبیاری تحت سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که بیش‌ترین حجم آب مصرفی برای تیمار آبیاری کامل به میزان  $4590/2$  مترمکعب در هکتار در دو سامانه آبیاری است، درحالی‌که با کاهش ۳۵ درصدی آب آبیاری در تیمار  $RDI_{65}$  حجم آب مصرفی ۳۰ درصد کاهش داشته است.

### بررسی میزان همبستگی شاخص CWSI با رطوبت خاک در مدیریت‌های مختلف کم‌آبیاری

در این تحقیق، میزان همبستگی بین شاخص CWSI و رطوبت خاک در شرایط تنش آبی، بررسی گردید. شکل (۴) روابط بین شاخص CWSI و رطوبت خاک ( $mm/m$ ) در فصل رشد را برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل (۴) نشان می‌دهد، هرچه تنش آبی بیش‌تر می‌شود، رطوبت خاک و به تبع آن رطوبت قابل جذب توسط گیاه کاهش و مقدار شاخص CWSI افزایش می‌یابد. هم‌چنین همبستگی بالایی برای رابطه خطی بین درصد رطوبت حجمی خاک و شاخص تنش آبی گیاه محاسبه شد (۱)، در حالی‌که رابطه خطی بین شاخص و میزان رطوبت خاک در فواصل آبیاری، با همبستگی پایینی ( $R^2 = 0.39$ ) به دلیل



شکل ۴. میزان همبستگی بین شاخص CWSI و رطوبت خاک در فصل رشد، آبیاری قطره‌ای سطحی (a)، آبیاری قطره‌ای زیرسطحی (b) بررسی میزان همبستگی شاخص CWSI با عملکرد گیاه سیب‌زمینی

جدول ۵. مقادیر حجم آب مصرفی گیاه سیب‌زمینی برای تیمارهای مختلف آبیاری

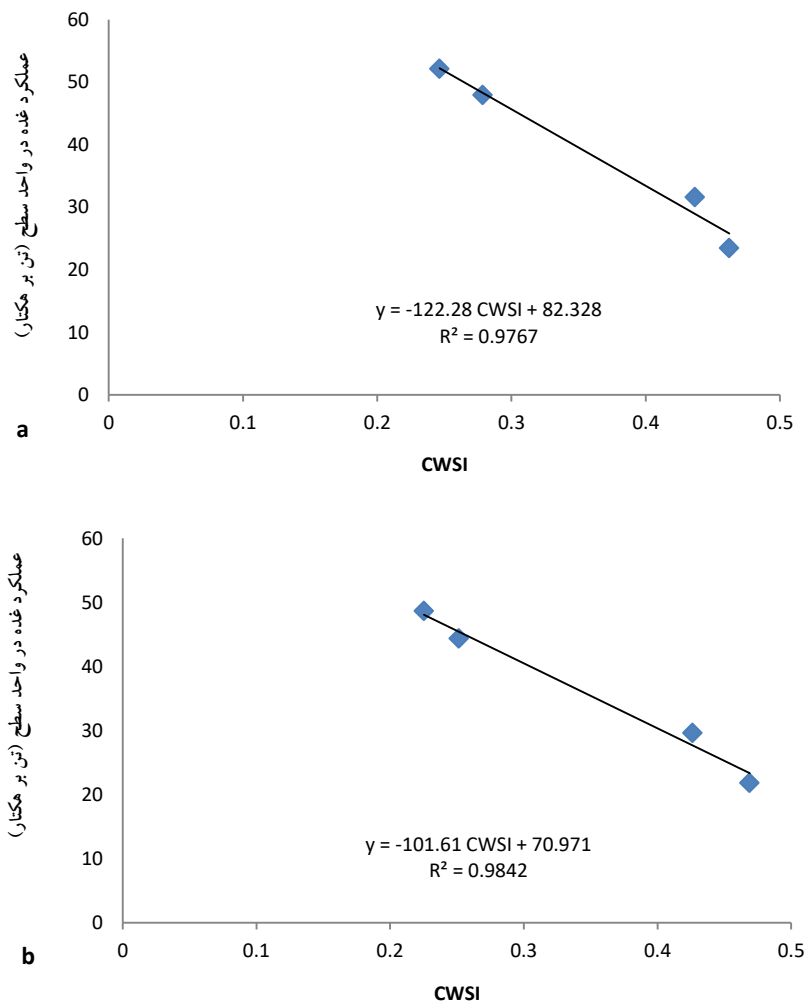
حجم آب مصرفی ( $m^3/ha$ )				روش آبیاری
$RDI_{65}$	$PRD_{75}$	$RDI_{80}$	FI	
۳۲۴۲/۷	۳۶۲۷/۷	۳۸۲۰/۲	۴۵۹۰/۲	قطره‌ای سطحی
۳۲۴۲/۷	۳۶۲۷/۷	۳۸۲۰/۲	۴۵۹۰/۲	قطره‌ای زیرسطحی

## مدیریت آب و آبیاری

ارزیابی شاخص تنش آبی گیاه برای سیب‌زمینی تحت رژیم‌های متفاوت آبیاری در سامانه‌های آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی

شکل (۵) رابطه عملکرد (Y) و شاخص (CWSI)، برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی با همبستگی بالا به ترتیب  $Y = -122.28 \text{ CWSI} + 82.38$  و  $Y = -101.61 \text{ CWSI} + 70.97$  تعیین آمد. همبستگی بالا بین این دو پارامتر برای بادمجان (۱۲)، فلفل قرمز (۲۴)، سویا (۱۴ و ۱)، کلم بروکلی (۱۸)، سیب‌زمینی تحت آبیاری قطره‌ای و جویچه‌ای (۱۷)، جو (۲۸)، خربزه (۲۵)، سویا تحت آبیاری جوی و پشته (۲) و ذرت تابستانه (۴) گزارش شده است.

برای بررسی اثر کم‌آبیاری بر عملکرد گیاه سیب‌زمینی تحت دو سامانه آبیاری قطره‌ای سطحی و زیر سطحی، با استفاده از شاخص CWSI، میزان همبستگی بین شاخص و عملکرد گیاه، تحت تنش‌های آبی بررسی گردید. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، مقادیر عملکرد محصول برای تیمارهای FI،  $RDI_{80}$ ،  $PRD_{75}$  و  $RDI_{65}$  در آبیاری قطره‌ای سطحی به ترتیب ۵۲/۱، ۴۸، ۳۱/۶ و ۲۳/۴ تن در هکتار و برای آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب ۴۸/۶، ۴۴/۳ و ۲۹/۶ تن در هکتار به دست آمد. از



شکل ۵. میزان همبستگی بین شاخص (CWSI) و عملکرد سیب‌زمینی در فصل کشت آبیاری قطره‌ای سطحی (a) و قطره‌ای زیرسطحی (b)

## مدیریت آب و آبیاری

دوره ۹ ■ شماره ۱ ■ بهار و تابستان ۱۳۹۸

## برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)

براساس محاسبات انجام شده مقدار شاخص تنش آبی گیاه به روش ایدسو ارائه شد و با توجه به روابط (۱۵)، (۱۶) و (۱۷) برای برنامه‌ریزی آبیاری در فصل رشد به منظور تولید حداکثری محصول، به ترتیب برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی به صورت  $(T_c - T_a)_a = 2.7774 - 0.0043 VPD$  و  $(T_c - T_a)_a = 1.5393 - 0.0351 VPD$  ارائه گردید. کمبود فشار بخار آب در طول فصل رشد بین ۶/۹ تا ۵۰/۶ میلی‌بار متغیر بود. برای تشخیص زمان فرارسیدن آبیاری، مقادیر کمبود فشار بخار آب هوا در ساعت ۱۱ الی ۱۴ اندازه‌گیری نموده و سپس  $(T_c - T_a)_a$  تعیین می‌شود. از مقایسه  $(T_c - T_a)_m$  (اندازه‌گیری شده) با  $(T_c - T_a)_a$  (مقدار مجاز محاسبه شده) می‌توان زمان فرارسیدن آبیاری را تشخیص داد به گونه‌ای که اگر مقادیر اندازه‌گیری شده کوچک‌تر از مقادیر محاسبه شده باشد زمان آبیاری فرا نرسیده است، بالعکس در شرایطی که مقادیر اندازه‌گیری بزرگ‌تر از مقادیر محاسبه شده باشد، به این معنی است که زمان آبیاری گذشته است. لازم به ذکر است که  $(T_c - T_a)_m$  (اندازه‌گیری شده) می‌بایست در شرایط حداکثر تنش روزانه بین ساعت ۱۱ الی ۱۴ انجام گردد.

$$CWSI_i = \frac{MB}{AB} = \frac{(T_c - T_a)_m - [a - b(VPD)_m]}{(T_c - T_a)_{u.l} - [a - b(VPD)_m]} \quad (15)$$

اجزای این رابطه قبلاً معرفی شده‌اند. رابطه  $(T_c - T_a)_a = 1.04 - 0.13 VPD$  برای سویا در اقلیم آب‌وهوای سرد نیمه‌خشک گزارش شد (۲).

## نتیجه‌گیری

روند تغییرات مقدار شاخص تنش آبی گیاه در تیمارهای کم‌آبیاری برای آبیاری قطره‌ای سطحی بین ۰/۵۶ تا ۰/۱۶ و برای قطره‌ای زیرسطحی ۰/۴۹ تا ۰/۱۵ به دست آمد. بیش‌ترین مقدار تغییرات CWSI در کل فصل کشت برای

تیمار کم‌آبیاری ۶۵ درصد در دو سامانه آبیاری مشاهده شد. هم‌چنین CWSI برای تیمار آبیاری ۱۰۰ درصد در آبیاری قطره‌ای سطحی برابر ۰/۱۸۸ به دست آمد. رابطه شاخص تنش آبی گیاه و میزان رطوبت خاک برای آبیاری قطره‌ای سطحی  $CWSI^{0.287} = 119.18$  و برای قطره‌ای زیرسطحی  $CWSI^{0.265} = 119.18$  محاسبه شد. شاخص تنش آبی گیاه در رابطه با عملکرد محصول برای آبیاری قطره‌ای سطحی و آبیاری قطره‌ای زیرسطحی به ترتیب برابر  $Y = -101.61 CWSI + 70.97$  و  $Y = -122.28 CWSI + 82.38$  به دست آمد. نتایج نشان داد جهت دستیابی به بالاترین عملکرد، گیاه سیب‌زمینی در آبیاری قطره‌ای سطحی باید در محدوده ۰/۱۶ تا ۰/۲ شاخص تنش آبی گیاه، آبیاری گردد. جهت برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه، رابطه  $(T_c - T_a)_a = 2.7774 - 0.0043 VPD$  و  $(T_c - T_a)_a = 1.5393 - 0.0351 VPD$  به ترتیب برای آبیاری قطره‌ای سطحی و زیرسطحی ارائه گردید.

## منابع

۱. احمدی ح، نصراللهی ع، شریفی پور م و عیسوند ح (۱۳۹۷) تعیین شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) سویا برای مدیریت آبیاری جهت حداکثر عملکرد و بهره‌وری آب. مهندسی آبیاری و آب. ۸ (۳۲): ۴۳-۵۶.
۲. احمدی ح، نصراللهی ع، شریفی پور م و عیسوند ح (۱۳۹۶) برنامه‌ریزی آبیاری سویا با استفاده از اختلاف دمای هوا و پوشش گیاهی. مدیریت آب و آبیاری. ۷ (۱): ۱۳۳-۱۲۱.
۳. دهقانی سانجیح ح، نخجوانی مقدم م و قهرمان ب (۱۳۹۶) کاربرد شاخص تنش آبی گیاه برای زمان‌بندی تک‌آبیاری گندم دیم. آبیاری و زهکشی ایران. ۴ (۱۱): ۵۵۲-۵۶۱.
۴. سعیدی‌نیا م (۱۳۹۳) بررسی اثر شوری آب آبیاری بر

12. Colak Y, Yazar A, Colak I, Akca 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.
13. Çolak YB and 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.
14. Candogan BN, Sincik M, Buyukcangaz H, Demirtasa C, TanjuGoksoy A and Yazgana S (2013) Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] in sub-humid climatic conditions. *Agricultural Water Management* 118: 113-121.
15. Da Silva CJ, Da Silva CA, De Freitas CA, Golynski A, Da Silva LF and Frizzone J (2018) Tomato water stress index as a function of irrigation depths. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. 22(2): 95-100.
16. Dugo VG, Tejada PJ and Fereres E (2014) Applicability and limitations of using the crop water stress index as an indicator of water deficits in citrus orchards. *Agricultural and Forest Meteorology* 199: 94-104.
17. Erdem T, Halimorta A, Erdem Y and Okursoy H (2005) Crop water stress index for potato under furrow and drip irrigation systems. *Potato Research* 48: 49-58.
18. Erdem Y, Arin L, Erdem T, Polat S, Devenci M, Okursoy H and Guitas T (2010) Crop water stress index for assessing irrigation scheduling of drip irrigated broccoli (*Brassica oleracea* L. var. italica). *Agricultural Water Management*. 98: 148-156.
19. Garcia brunini R and Pitelli Turco J (2018) Water stress index on sugarcane in different developmental phases. *Ciencia Agrotecnologia* 42(2): 204-215.
20. Ghaemi A, Moazed H, Rafiee M and Broomandnasab S (2015) Determining CWSI to estimate eggplant evapotranspiration and yield under greenhouse and outdoor conditions. *Iran Agricultural Research* 34(2): 49-60.
21. Idso SB, Jackson RD, Pinter PJ and Reginato RJ (1981) Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorology* 24: 45-55.
22. Idso SB, Reginato RJ and Radin JW (1982) Leaf diffusion resistance and photosynthesis in cotton related to a foliage temperature based plant water stress index. *Agricultural Meteorology* 27: 27-34.
- عملکرد ذرت با استفاده از شاخص CWSI و شبیه‌سازی آن با مدل AquaCrop، تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: منطقه اهواز). دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز. پایان‌نامه دکتری.
5. سیفی ا، میرلطفی س م، دهقانی سانج و ترابی م (۱۳۹۳) تعیین شاخص تنش آب برای درختان پسته تحت روش آبیاری قطره‌ای زیرسطحی با استفاده از اختلاف دمای تاج گیاه و هوا. مدیریت آب و آبیاری. ۴ (۱): ۱۳۶-۱۲۳.
6. فیضی‌اصل و، فتوت ا، آستارایی ع، لکزیان ا و موسوی شلمانی م (۱۳۹۳) تعیین موازنه آبی و مراحل بحرانی آن در گندم دیم با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه (CWSI). علوم و صنایع کشاورزی. ۲۸ (۴): ۸۰۴-۸۱۷.
7. قربانی م و برومندنسب س (۱۳۹۵) بررسی اثر شوری آب در آبیاری بر میزان شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تابستانه. مهندسی آبیاری و آب. ۷ (۲۵): ۵۴-۶۷.
8. ویسی ش، ناصری ع و حمزه س (۱۳۹۵) تعیین زمان آبیاری مزارع نیشکر با استفاده از دماسنج مادون قرمز حرارتی و رطوبت خاک ناحیه ریشه. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳ (۶): ۲۳۵-۲۵۱.
9. هزارجریبی ا، هزارجریبی ا، ذاکری‌نیا م، قربانی نصرآباد ق و جهانتیغ ح (۱۳۹۳) تأثیر تنش آبی با استفاده از آبیاری بارانی به روش تک‌شاخه‌ای بر عملکرد سویا. آبیاری و زهکشی ایران. ۴ (۸): ۷۶۵-۷۵۷.
10. Aladenola O and Madramootoo C (2012) Effect of different water application on yield and water use of bell pepper under greenhouse conditions. *Northeast Agricultural and Biological Engineering Conference, Canadian*.
11. Bahmani O, Sabziparvar A and Khosravi R (2016) Evaluation of yield, quality and crop water stress index of sugar beet under different irrigation regimes. *Water Science and Technology* 17(2): 571-578.

23. Kar G and Kumar A (2007) Surface energy fluxes and crop water stress index in groundnut under irrigated ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology* 146: 94-106.
24. Metin Sezen S, Yazar A, Dasgan Y, Yucel S, Akyildiz 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. *Agricultural Water Management*. 143: 59-70.
25. Ortal A, Erdem Y and Erdem T (2003) Crop water stress index for watermelon. *Scientia Horticulturae* 98: 121-130.
26. Osroosh Y, Petet RT and Campbell C (2016) Daylight crop water stress index for continuous monitoring of water status in apple trees. *Irrigation Science* 34 (3): 209-219.
27. Platineanu C, Chitu E and Tanasescu N (2011) Correlation between the crop water stress index and soil moisture content for Apple in a loamy soil: a case study in southern Romania. *Acta Horticulturae* 889: 257-264.
28. Rizza F, Badeck FW, Cattivelli L, Lidestri O, Fonzo N and Stanca AM (2004) Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science* 44: 2127-2137.
29. Usman M, Ahmad A, Ahmad SH, Arshad M, Khaliq T, Wajid A, Hussain KH, Nasim W, Chattha TM, Trethowan R and Hoogenboom G (2009) Development and application of crop water stress index for scheduling irrigation in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) under semiarid environment. *Food, Agriculture and Environment* 7: 386 -391.
30. Vaysi Sh, Naseri A, Hamzeh S and Bartholomeuse H (2017) A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. *Agricultural Water Management* 189: 70-86.