

## برآورد میزان رطوبت خاک با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه جهت مدیریت آبیاری لوبیاچیتی

سمیه نوری<sup>۱</sup>، علی حیدر نصرالهی<sup>۲\*</sup>، عباس ملکی<sup>۳</sup>، مجید شریفی پور<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۷/۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۸/۸

### چکیده

این تحقیق با هدف بررسی تغییرات شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) لوبیا چیتی و رابطه آن با رطوبت خاک تحت درصدهای مختلف آب آبیاری به روش آبیاری قطره‌ای نواری (تیپ) در دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان انجام شد. برای این منظور سه رقم لوبیا چیتی شامل صدری (S)، COS16 (C) و کوشا (K) در کرت‌های اصلی و رژیم‌های آبیاری در چهار سطح شامل T<sub>120</sub> (۱۲۰ درصد آب مصرفی)، T<sub>100</sub> (۱۰۰ درصد آب مصرفی)، T<sub>80</sub> (۸۰ درصد آب مصرفی) و T<sub>60</sub> (۶۰ درصد آب مصرفی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که در هر سه رقم لوبیای مورد مطالعه بیشترین مقادیر شاخص CWSI در طول فصل مربوط به تنش آبی شدید (T60) و معادل ۰/۳ و در مقابل در رژیم آبیاری T120 کمترین مقادیر شاخص تنش آبی برابر ۰/۱۴ مشاهده شدند. با بررسی رابطه شاخص تنش آبی و رطوبت خاک ناحیه ریشه ضریب همبستگی بین این دو پارامتر ۰/۹۱ بدست آمد که در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و لذا رابطه‌ای برای برآورد میزان رطوبت خاک با استفاده از شاخص تنش آبی استخراج شد. در نهایت با استفاده از رابطه ارائه شده و ضریب تخلیه مجاز رطوبتی، مقدار آستانه CWSI معادل ۰/۲۱ به دست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** آبیاری قطره‌ای، تخلیه مجاز رطوبتی، دمای برگ، کم آبیاری

### مقدمه

تنش آبی مهم‌ترین متغیر محیطی است که موجب کاهش رشد و نمو گیاهان و در نتیجه کاهش عملکرد محصول می‌گردد. از این‌رو پایش و کنترل میزان تنش وارده به گیاه در طول دوره رشد می‌تواند از اثرات زیان‌بار آن بر گیاهان جلوگیری نماید. Zablotowicz et al., (1981). بررسی‌ها نشان می‌دهد که اندازه‌گیری وضعیت آب در گیاه و استفاده از شاخص‌های گیاهی شامل رنگ و شادابی گیاه، شاخص رشد گیاه، مقدار آب نسبی، پتانسیل آب برگ، تجزیه گیاه، هدایت روزنه‌ای و دمای پوشش سبز گیاه می‌تواند برآورد بهتری از شدت تنش وارده به گیاه را بیان کرده و لذا به منظور مدیریت بهتر آبیاری در مزارع مورد استفاده قرار گیرد (شاهرخ نیا، ۱۳۹۴؛ عنابی میلانی و همکاران، ۱۳۹۵، احمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

شاخص تنش آبی گیاه<sup>۵</sup> (CWSI) که تابعی از اختلاف دمای هوا (T<sub>a</sub>) و دمای گیاه (T<sub>c</sub>) است به خوبی می‌تواند وضعیت تنش آبی در گیاه را نشان داده و اولین بار توسط Idso et al (1981) به صورت رابطه ۱ معرفی شد:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{ll}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}} \quad (1)$$

که در رابطه بالا:

$(T_c - T_a)_m$ : اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا در زمان اندازه‌گیری شاخص تنش آبی،

$(T_c - T_a)_{ll}$ : اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا برای حالتی که گیاه با تنش آبی مواجه نباشد و

$(T_c - T_a)_{ul}$ : اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا برای حالتی که گیاه تحت تنش کامل آبی است.

نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که شاخص (CWSI) به خوبی قادر است شدت تنش آبی در گیاهان را نشان داده و از این‌رو قابلیت بالایی برای برنامه‌ریزی آبیاری در مزرعه دارد. فیضی اصل و

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران  
\* - نویسنده مسئول: (Email: nasrolahi.a@lu.ac.ir)

سطح برگ ارائه کردند و نشان دادند که برای دستیابی به حداکثر عملکرد در انگور، آبیاری باید زمانی انجام شود که مقدار CWSI معادل  $0/2$  باشد (Colak and Yazar, 2017). آسمان رفعت و هنر با بررسی تغییرات شاخص تنش آبی گیاه در لوبیا قرمز تحت تنش آبی، روابطی بین شاخص تنش آبی گیاه با عملکرد دانه و میزان آب مصرفی استخراج کردند (Asemanrafat and Honar, 2017). خرسندی و همکاران کارایی بالای CWSI را به عنوان یک روش تشخیص غیر مخرب تنش آبی و برآورد میزان آب نسبی در کنجد تأیید کردند (Khorsandi et al., 2018). سزن و همکاران با بررسی شاخص تنش آبی گیاه فلفل قرمز بیان کردند رابطه‌ای با همبستگی بالا بین CWSI و هدایت روزنه‌ای، پتانسیل آب برگ و عملکرد فلفل قرمز وجود داشته و لذا می‌توان از آن جهت تعیین زمان مناسب آبیاری استفاده کرد (Sezen et al., 2016). همان طوری که بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از شاخص‌های گیاهی نظیر دمای برگ و شاخص تنش آبی گیاه به عنوان یک معیار مناسب، کم‌هزینه و با دقت بالا جهت پایش وضعیت تنش آبی گیاهان و نیز مدیریت آبیاری مورد توجه محققان قرار گرفته است. با وجود تحقیقات متعددی که در این زمینه صورت گرفته ولی کمتر به بررسی رابطه شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) و میزان رطوبت خاک تحت شرایط آبیاری نواری پرداخته شده است. از آنجایی که مهم‌ترین عامل در مدیریت آبیاری آگاهی از وضعیت رطوبتی خاک است لذا هدف تحقیق حاضر علاوه بر تعیین آستانه شاخص تنش آبی گیاه لوبیا چیتی، بررسی و استخراج رابطه‌ای جهت برآورد میزان رطوبت خاک با استفاده از مقدار شاخص تنش آبی گیاه است.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق از خردادماه لغایت شهریور سال ۱۳۹۷ به مدت ۴ ماه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان با مختصات جغرافیایی  $48$  درجه و  $15$  دقیقه شرقی و  $33$  درجه و  $26$  دقیقه شمالی که در ارتفاع  $1147$  متری از سطح دریا قرار دارد، انجام شد. متوسط ماهانه برخی از پارامترهای هواشناسی منطقه بر اساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی شهرستان خرم‌آباد تهیه شده است (جدول ۱). برای بررسی برخی خصوصیات خاک مزرعه در ابتدای کار و قبل از کشت لوبیا از پنج نقطه مختلف به صورت W در دو عمق  $0$  تا  $30$  سانتی‌متری و  $30$  تا  $60$  سانتی‌متری نمونه‌برداری انجام شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های خاک بعد از انتقال آن‌ها به آزمایشگاه مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آزمایش‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی و آزمایش کرت‌های خردشده اجرا شد. رقم‌های لوبیاچیتی شامل COS16 (C)، صدری (S) و کوشا (K) در کرت‌های اصلی و

همکاران (۱۳۹۳)، نشان دادند که بین شاخص CWSI و عملکرد دانه گندم در سطوح مختلف نیتروژن همبستگی منفی و معنی‌داری وجود داشته و مقدار آستانه شاخص تنش آبی گندم را  $0/4$  گزارش کرده و نشان دادند که بین دمای پوشش سبز و وضعیت آبی گیاه و میزان آب موجود در پروفیل خاک همبستگی بالایی وجود دارد. سیفی و همکاران (۱۳۹۳)، با اندازه‌گیری دمای برگ درختان پسته رابطه‌ای خطی بین تبخیر- تعرق واقعی گیاه و CWSI با ضریب تبیین  $0/6$  استخراج کرده و مقدار متوسط شاخص تنش آبی پسته را  $0/5$  به دست آوردند. در تحقیقی روی درختان بادام، ارتباط معنی‌داری بین دمای تاج گیاه با هدایت روزنه‌ای و پتانسیل آب برگ مشاهده شد و وجود همبستگی قوی بین دمای تاج با دیگر شاخص‌های تنش نشان داد که می‌توان از دمای تاج به عنوان ابزاری کارآمد برای پایش وضعیت تنش آبی درخت بادام استفاده کرد (عنابی میلانی و همکاران، ۱۳۹۵). ویسی و همکاران (۱۳۹۵) در بررسی شاخص تنش آبی گیاه نیشکر با رطوبت ناحیه ریشه در عمق  $30$  سانتی‌متری، رابطه بین آن -ها را به صورت  $CWSI = -3.25M + 0.098$  با ضریب تبیین  $0/4$  به دست آوردند که همبستگی بین آن‌ها به دلیل وجود عوامل دیگری از جمله شوری خاک معنی‌دار نبود. تراب نژاد (۱۳۹۶)، مقدار متوسط شاخص تنش آبی گیاه لوبیاچیتی را در اردیبهیل برای رژیم‌های آبیاری  $70$ ،  $85$  و  $100$  درصد نیاز آبی به ترتیب  $0/29$ ،  $0/25$  و  $0/24$  به دست آورد و نشان داد که شاخص CWSI متأثر از رژیم‌های مختلف آبیاری است. ویسی و همکاران (۱۳۹۶)، با بررسی شاخص تنش آبی گیاه نیشکر با رطوبت غلاف برگ بیان کردند بین آن‌ها همبستگی بالایی وجود دارد و رابطه‌ای به صورت  $CWSI = -3.26WVC + 3.07$  بین آن‌ها ارائه دادند. همچنین بیان کردند که استفاده از شاخص تنش آبی گیاه برای تعیین زمان آبیاری نسبت به روش کراک لاگ، هم از لحاظ هزینه و هم از لحاظ صرف وقت مقرون به صرفه‌تر است. احمدی و همکاران (۱۳۹۷)، در تحقیق خود نشان دادند که با افزایش شاخص تنش آبی سویا از  $0/18$  به  $0/84$  میزان عملکرد محصول حدود  $75$  درصد کاهش می‌یابد و بین شاخص تنش و میزان رطوبت خاک همبستگی منفی و بالایی وجود دارد که بر این اساس حد آستانه و مجاز CWSI برای آبیاری سویا در منطقه مورد مطالعه  $0/18$  تعیین شد. آهی و همکاران یک رابطه‌ی خطی و مستقیم با همبستگی بالا بین شاخص تنش آبی گیاه انگور و مقاومت روزنه‌ای (SR) به صورت  $SR = 0.54CWSI + 0.78$  به دست آورده و بیان کردند که از شاخص تنش آبی گیاه محاسبه شده می‌توان به خوبی به منظور ارزیابی مقدار آب محصول انگور استفاده کرد (Ahi et al., 2015). آن‌ها همچنین رابطه‌ای بین شاخص تنش آبی گیاه و عملکرد به صورت  $Y = -5.92CWSI + 12.04$  ارائه کردند که با استفاده از آن می‌توان عملکرد انگور را پیش‌بینی کرد. کلاک و یازار روابط معنی‌داری بین شاخص تنش آبی گیاه انگور با عملکرد و شاخص

تعرق گیاه لوبیاچیتی از طریق رابطه زیر برای شرایط آبیاری قطره‌ای محاسبه شد (روابط ۳ و ۴).

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (3)$$

$$T_d = ET_c \times (0.1 \times P_d^{0.5}) \quad (4)$$

در این روابط:  $ET_c$ : تبخیر و تعرق گیاه لوبیاچیتی،  $K_c$ : ضریب گیاهی لوبیاچیتی،  $T_d$ : مقدار نیاز آبی یا تعرق روزانه در آبیاری قطره-ای که فقط بخشی از زمین آبیاری می‌شود و  $P_d$ : سطح سایه انداز گیاه (درصدی از سطح خاک که توسط پوشش گیاهی در هنگام ظهر خورشیدی سایه‌اندازی شده) می‌باشند. شکل ۱ ضرایب گیاهی (Kc) لوبیا چیتی را در آبیاری‌های مختلف نشان می‌دهد. بر اساس دور آبیاری سه‌روزه و راندمان آبیاری ۹۰ درصد، آب مورد نیاز هر تیمار محاسبه و با اعمال ضریب برای هر یک از تیمارهای  $T_{80}$ ،  $T_{100}$ ،  $T_{120}$  و  $T_{60}$  در اختیار گیاه قرار گرفت. به‌طور کلی در طول دوره رشد تعداد ۲۹ نوبت آبیاری انجام شد در مجموع عمق ناخالص آبیاری در طول دوره رشد لوبیاچیتی برای تیمار شاهد یا ۱۰۰ درصد نیاز آبی  $440/6$  میلی‌متر بود. بر همین اساس و با اعمال ضرایب  $1/2$ ،  $1/8$  و  $1/6$  در تیمارهای  $T_{120}$ ،  $T_{80}$  و  $T_{60}$  نیز عمق آبیاری به ترتیب  $518/67$ ،  $362/44$  و  $284/28$  به دست آمد (شکل ۲). مواد مغذی و کودهای مورد نیاز نیز با توجه به نتایج آزمون خاک شامل ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن، ۵۰ کیلوگرم در هکتار فسفر و ۵۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم بودند که در اختیار گیاه قرار گرفتند.

چهار سطح آبیاری شامل  $T_{120}$  (۱۲۰ درصد آب مصرفی)،  $T_{100}$  (۱۰۰ درصد آب مصرفی)،  $T_{80}$  (۸۰ درصد آب مصرفی) و  $T_{60}$  (۶۰ درصد آب مصرفی) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. هر کدام از کرت‌های آزمایشی با ۵ جویچه انتها بسته به مساحت  $4 \times 2$  متر ایجاد و فاصله ردیف‌ها ۴۰ سانتی‌متر، فاصله بوته‌ها روی ردیف ۵ سانتی‌متر و تراکم کشت ۴۰ بوته در متر مربع در نظر گرفته شدند. در این تحقیق ۱۲ تیمار آزمایشی و هر کدام در سه تکرار اجرا شدند که در مجموع ۳۶ کرت آزمایشی تهیه و پس از اندازه‌گیری ابعاد آن‌ها در مزرعه تهیه و اجرا گردید. منبع آب آبیاری چاه موجود در دانشکده بود که خصوصیات کیفی آن در جدول ۳ ارائه شده است. در این تحقیق از سیستم آبیاری تیپ با دبی روزانه  $1/3$  لیتر در ساعت و فاصله روزنه ۱۰ سانتی‌متر استفاده شد. انرژی مورد نیاز سیستم توسط پمپ یک اسب بخار با فشار ۴۵-۲۵ متر و دبی ۹۰-۲۰ لیتر در دقیقه تأمین و آب آبیاری توسط فیلتر توری تصفیه و حجم آن نیز توسط کنتور حجمی کنترل می‌شد. برای تعیین عمق آبیاری از تشت تبخیر کلاس A تعبیه شده در مزرعه استفاده شد به طوری که ابتدا تبخیر-تعرق گیاه مرجع از طریق تبخیر از تشت و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد.

$$ET_0 = K_p \times E_p \quad (2)$$

در این رابطه:  $ET_0$ : تبخیر-تعرق گیاه مرجع  $K_p$ : ضریب تشت تبخیر که  $1/8$  در نظر گرفته شد  $E_p$ : میزان تبخیر از تشت تبخیر می‌باشند. سپس با استفاده از ضرایب گیاهی ارائه شده برای لوبیاچیتی بر مبنای نشریه ۵۶ فائو (Allen et al., 1998) تبخیر و

جدول ۱- میانگین ماهانه پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد

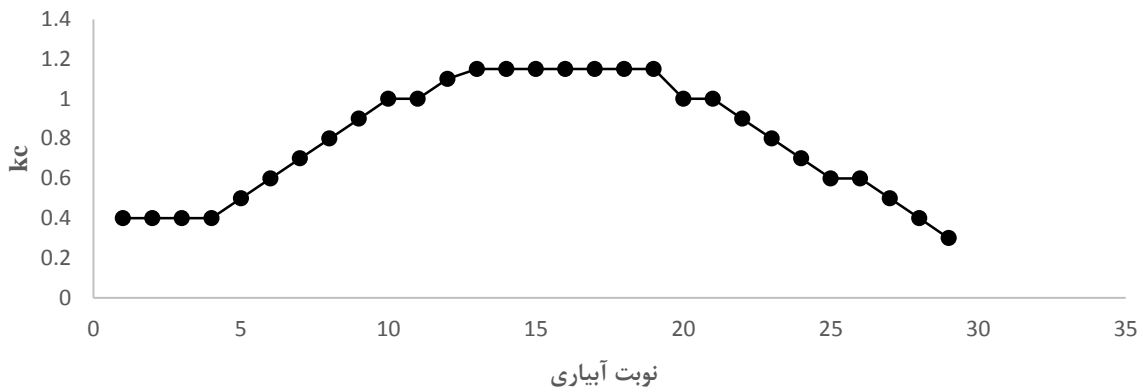
پارامتر هواشناسی	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
بیشینه درجه حرارت (سانتی‌گراد)	۳۳/۸۲	۴۱/۱۵	۴۱/۷۵	۳۸/۲۱
کمینه درجه حرارت (سانتی‌گراد)	۱۵/۳۲	۲۰/۶۰	۲۰/۸۱	۱۷/۶۰
بیشینه رطوبت نسبی (درصد)	۶۶/۶۵	۲۸/۰۶	۲۷/۰۶	۳۰/۶۸
کمینه رطوبت نسبی (درصد)	۱۸/۸۴	۷/۷۷	۷/۳۲	۷/۹۰
سرعت باد (متر بر ثانیه)	۷/۶۸	۶/۶۸	۶/۵۲	۷/۴۵

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

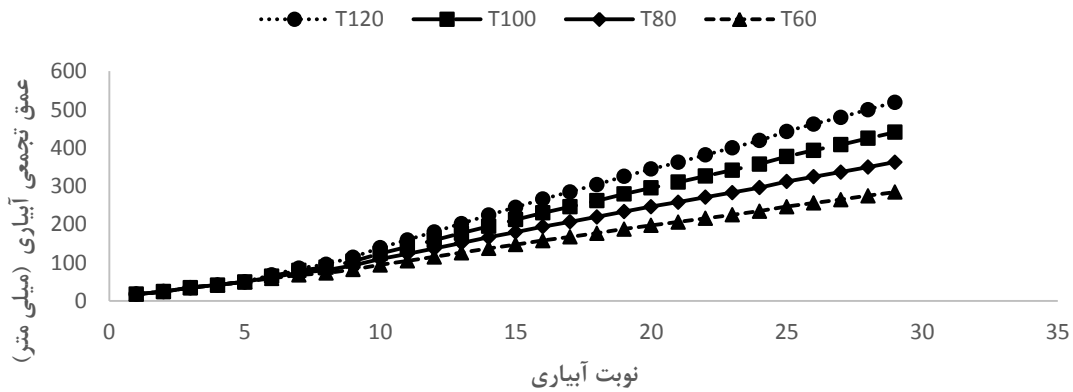
عمق خاک	بافت خاک	PH	EC (ds/m)	OC %	N% (ppm)	P% (ppm)	K% (ppm)	$\rho_b$ (gr/cm <sup>3</sup> )	%FC (حجمی)	PWP (حجمی)
۰-۳۰	لوم-رسی	۷/۵۲	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۰۹	۲۴	۵۴۵	۱/۱۲	۲۵/۶	۱۴/۵
۳۰-۶۰	لوم-رسی	۷/۷۱	۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۰۸	۱۳	۲۹۵	۱/۱۳	۲۶/۰	۱۴/۴

جدول ۳- خصوصیات کیفی آب آبیاری در طول فصل

SAR	Na <sup>+</sup> (meq/l)	Mg <sup>2+</sup> (meq/l)	Ca <sup>2+</sup> (meq/l)	TDS (meq/l)	EC (ds/m)	PH
۰/۷۳	۱/۲۸	۱/۶	۴/۶	۳۹۷	۰/۶	۷



شکل ۱- مقادیر ضریب گیاهی (kc) اعمال شده در آبیاری‌های مختلف لوبیا چیتی طبق نشریه فائو ۵۶



شکل ۲- مقادیر عمق آبیاری در نوبت‌های مختلف برای سطوح مختلف آبیاری

بعد از ظهر و به فاصله زمانی یک ساعت، از تیمارهای بدون تنش آبی یا آبیاری کامل اندازه‌گیری شد. بر این اساس با استفاده از دمای هوا و رطوبت نسبی اندازه‌گیری شده مقدار کمبود فشار بخار اشباع (VPD) محاسبه و خط مبنای پایین از ترسیم نقاط به دست آمده برای اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا در برابر کمبود فشار بخار هوا برای روزهای مختلف به صورت رابطه ۵ تعیین شد:

$$(T_c - T_a)_{ll} = a - b(VPD) \quad (5)$$

که در رابطه بالا a و b ضرایب تجربی هستند. جهت محاسبه خط مبنای بالا نیز ابتدا مقدار شیب فشار بخار (VPG) با استفاده از دمای هوا و پوشش سبز محاسبه و سپس با استفاده از ضرایب به دست آمده برای خط مبنای پایین (a و b) موقعیت خط مبنای بالا تعیین شد (روابط ۶ و ۷).

$$VPG = e_s(T_c) - e_s(T_a) \quad (6)$$

$$(T_c - T_a)_{ul} = a + b|VPG| \quad (7)$$

در این روابط:  $e_s(T_c)$ : فشار بخار اشباع در درجه حرارت گیاه و  $e_s(T_a)$ : فشار بخار اشباع در درجه حرارت هوا است. پس از برآورد

برای محاسبه شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) دمای پوشش سبز گیاه توسط دماسنج مادون قرمز مدل 5240.00N اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری دمای برگ از هر گیاه در چهار جهت جغرافیایی مختلف قرائت‌ها صورت گرفت و میانگین آن‌ها به عنوان دمای پوشش سبز در هر لحظه در نظر گرفته شد. جهت پایش وضعیت تنش آبی گیاه تحت تیمارهای مختلف، در طول دوره رشد گیاه طبق مطالعات قبلی دمای پوشش سبز در روزهای بعد از آبیاری در ساعات ۸ الی ۱۴ و روزهای قبل از آبیاری در ساعات ۱۱ الی ۱۴ هر یک ساعت یک بار اندازه‌گیری شد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). در مجموع برای کل دوره دمای پوشش گیاهی در هر زمان اندازه‌گیری دمای هوا ( $T_a$ ) نیز توسط دماسنج موجود در مزرعه صورت گرفت. علاوه بر این جهت اندازه‌گیری رطوبت نسبی هوا از دماسنج مادون قرمز که از قابلیت محاسبه رطوبت نسبی برخوردار بود استفاده گردید. به منظور تعیین خط مبنای پایین در رابطه ۱ ( $(T_c - T_a)_{ll}$ )، طبق روش (Idso 1981) در روزهای بعد از آبیاری دمای پوشش سبز از ساعت ۸ صبح الی ۱۴

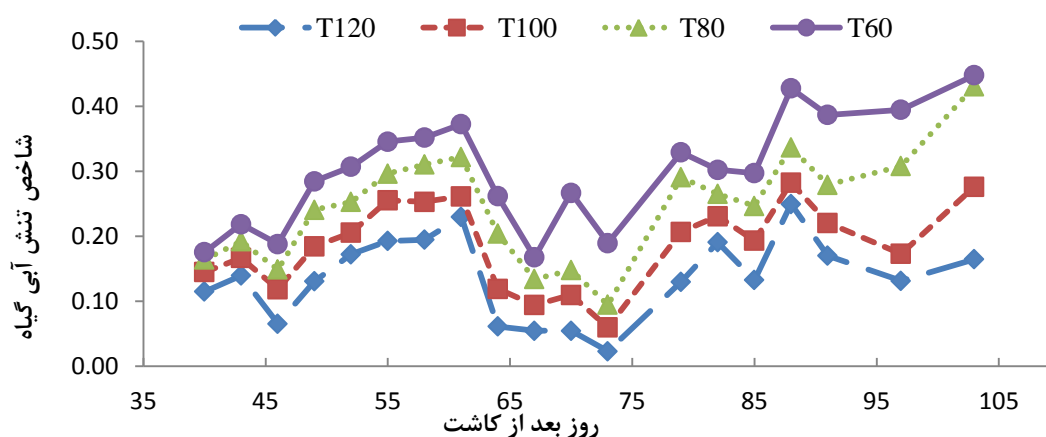
شاخص تنش آبی گیاه در کل دوره رشد برای رژیم‌های مختلف آبیاری و ارقام مختلف لوبیا در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به جدول مشاهده می‌شود که کاهش آب در دسترس گیاه در تیمارهای کم آبیاری باعث افزایش شاخص تنش آبی گیاه شده است که نشان‌دهنده ارتباط خوب این شاخص با میزان آب مصرف شده برای گیاه است. در زمان وجود تنش، اختلاف دمای پوشش سبز و هوا به حد مبنای بالا نزدیک‌تر می‌شود و شاخص CWSI به مقدار یک و حداکثر تنش نزدیک می‌شود. درحالی که در شرایط مطلوب رطوبتی اختلاف دمای پوشش سبز و هوا به حد مبنای پائین نزدیک‌تر می‌شود و شاخص CWSI به مقدار صفر نزدیک می‌شود که نشان‌دهنده نبود تنش آبی در گیاه است. از این رو اگرچه در محاسبه شاخص CWSI از مقادیر میزان رطوبت خاک و رطوبت گیاه استفاده نمی‌شود و تنها بازتاب‌های حرارتی گیاه مدنظر قرار می‌گیرد ولی این شاخص معیار مناسبی برای تعیین وضعیت آبی گیاه است. تراب نژاد (۱۳۹۶) مقدار شاخص تنش آبی برای تیمار آبیاری کامل لوبیاچیتی ( $T_{100}$ ) را حدود  $0/24$  گزارش کرد که به مقادیر این تحقیق یعنی  $0/19$ ،  $0/18$  و  $0/2$  نزدیک بوده و تفاوت‌های موجود می‌تواند ناشی از عوامل و شرایط اقلیمی و نیز ارقام مورد استفاده در آزمایش‌ها باشند. با توجه به نتایج تجزیه واریانس که نشان داد تأثیر رژیم‌های آبیاری و ارقام لوبیا بر روی شاخص تنش آبی گیاه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است لذا مقایسه میانگین بر اساس آزمون دانکن انجام شد و نتایج آن در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است تیمارهای  $T_{60-S}$  و  $T_{120-K}$  به ترتیب با مقادیر  $0/13$  و  $0/32$  دارای کمترین و بیشترین مقدار شاخص تنش آبی می‌باشند.

موقعیت خط مبنای بالا و پایین، برای محاسبه شاخص تنش آبی گیاه، دمای پوشش سبز در روزهای قبل آبیاری از کلیه تیمارها و در فاصله زمانی ساعات ۱۱ الی ۱۴ بعدازظهر و هر یک ساعت یک‌بار اندازه‌گیری شد. سپس با در اختیار داشتن دمای پوشش سبز و خطوط مبنای بالا و پایین محاسبه شده برای هر دوره، شاخص تنش آبی گیاه به روش Idso طبق رابطه (۱) محاسبه شد. برای تعیین رابطه شاخص تنش آبی با میزان رطوبت خاک، هم‌زمان با اندازه‌گیری شاخص تنش آبی رطوبت خاک نیز در تمام تیمارهای آزمایش تا عمق ۴۰ سانتی‌متر با استفاده از دستگاه TDR اندازه‌گیری شد.

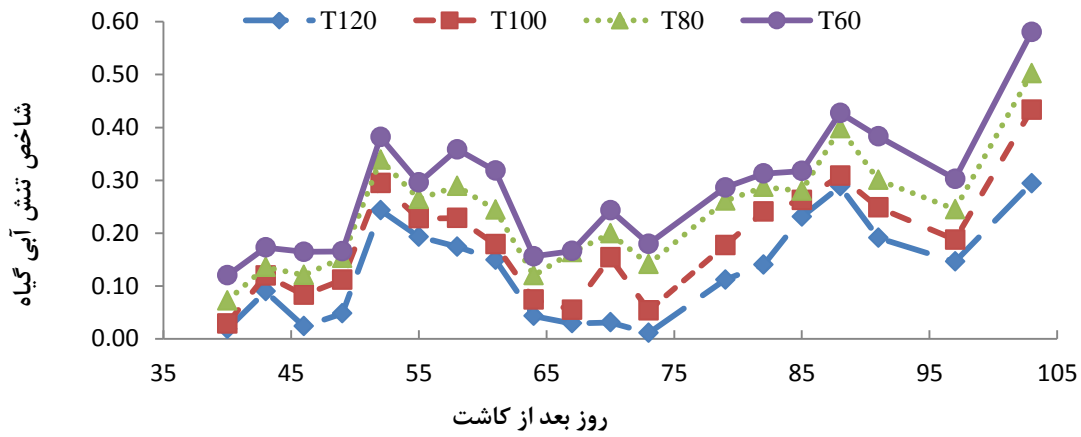
## نتایج و بحث

### بررسی تغییرات شاخص تنش آبی برای ارقام مختلف لوبیا در طول دوره رشد

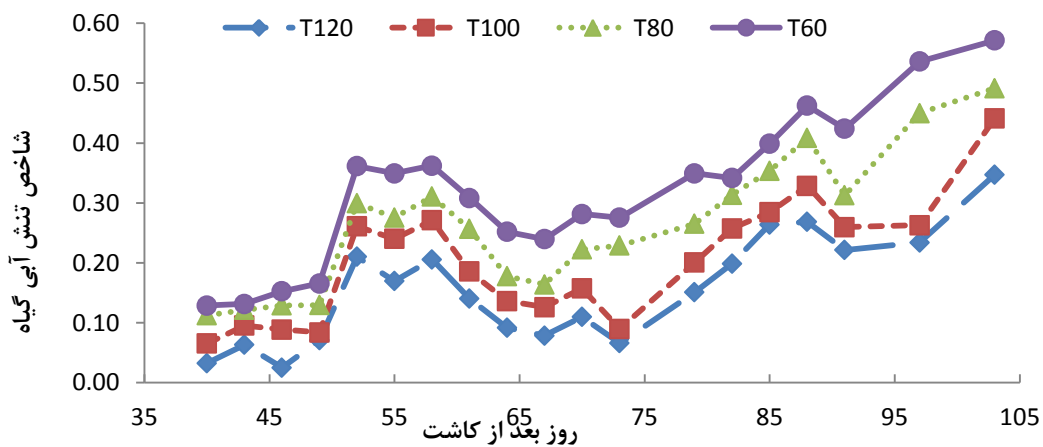
به منظور بررسی روند تغییرات شاخص CWSI در طول دوره رشد گیاه لوبیا، تغییرات این شاخص برای هر سه رقم مورد آزمایش تحت رژیم‌های مختلف آبیاری به ترتیب در شکل‌های ۳ تا ۵ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تقریباً روند مشابهی در ارقام مختلف وجود دارد به طوری که در هر سه رقم لوبیای مورد مطالعه بیشترین مقادیر شاخص CWSI در طول فصل مربوط به تنش آبی شدید ( $T_{60}$ ) بوده و در مقابل در رژیم آبیاری  $120$  درصد آب آبیاری ( $T_{120}$ ) کمترین مقادیر شاخص تنش آبی مشاهده می‌شوند. علاوه بر این در رژیم‌های آبیاری  $80$  و  $100$  درصد آب آبیاری یعنی  $T_{80}$  و  $T_{100}$  نیز مقادیر CWSI بین دو حالت قبل نوسان دارند که این نتایج با نتایج بسیاری از محققین از جمله تراب نژاد (۱۳۹۶)، Colak and Yazar (2017) و احمدی و همکاران (۱۳۹۷) مطابقت دارد. متوسط



شکل ۳- تغییرات شاخص تنش آبی گیاه در طول دوره رشد برای رقم COS 16



شکل ۴- تغییرات شاخص تنش آبی گیاه در طول دوره رشد برای رقم کوشا



شکل ۵- تغییرات شاخص تنش آبی گیاه در طول دوره رشد برای رقم صدری

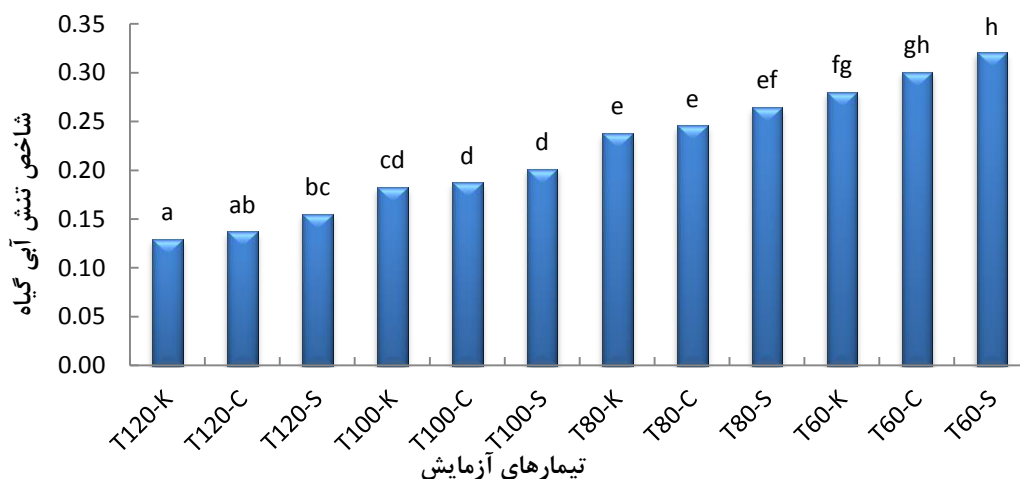
جدول ۴- متوسط شاخص تنش آبی گیاه در کل دوره رشد

تیمار	COS 16	کوشا	صدری
T <sub>120</sub>	۰/۱۴	۰/۱۳	۰/۱۶
T <sub>100</sub>	۰/۱۹	۰/۱۸	۰/۲۰
T <sub>80</sub>	۰/۲۵	۰/۲۴	۰/۲۶
T <sub>60</sub>	۰/۳۰	۰/۲۸	۰/۳۲

ارقام صدری، COS 16 و کوشا به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۸۹ و ۰/۹۴ برآورد شدند که در سطح احتمال یک درصد معنی دار می باشند که نشان دهنده همبستگی بالایی بین شاخص تنش آبی گیاه و رطوبت خاک است. احمدی و همکاران (۱۳۹۷) و فیضی اصل و همکاران (۱۳۹۳) نیز وجود همبستگی بالا و معنی داری بین رطوبت خاک و شاخص تنش آبی گیاهان سویا و گندم را گزارش کردند درحالی که ویسی و همکاران (۱۳۹۵)، همبستگی بین شاخص CWSI و رطوبت خاک را برای گیاه نیشکر ضعیف برآورد کردند.

#### بررسی رابطه شاخص تنش آبی گیاه با رطوبت خاک در منطقه ریشه

از آنجایی که عامل اصلی ایجاد تنش آبی در گیاهان میزان رطوبت در دسترس گیاه یا به عبارتی مقدار رطوبت موجود در منطقه ریشه گیاه است، لذا ارزیابی تغییرات شاخص تنش آبی با تغییرات رطوبت خاک به منظور بررسی ارتباط آن ها صورت گرفت. با محاسبه شاخص تنش آبی گیاه همبستگی این شاخص با میزان رطوبت خاک مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۵). با توجه به روابط ارائه شده در جدول ضریب همبستگی بین رطوبت خاک و شاخص تنش آبی برای



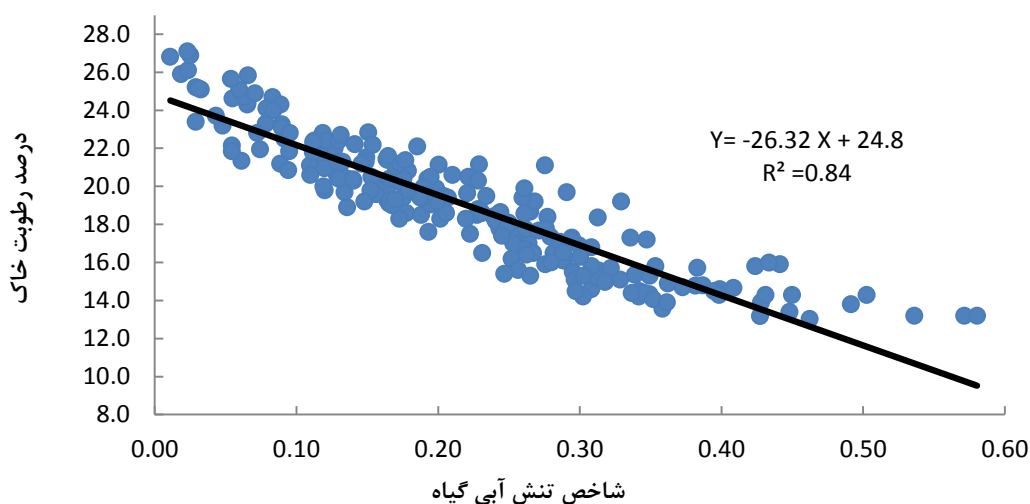
شکل ۶- مقایسه میانگین شاخص تنش آبی گیاه در تیمارهای مختلف

خطی بین این دو پارامتر از دقت بالایی برخوردار بوده به طوری که ضریب تبیین آن ( $R^2$ ) معادل ۰/۸۴ است. به عبارت دیگر این مدل رگرسیونی با دقت بالایی وضعیت رطوبتی خاک را در صورت داشتن مقادیر متناظر CWSI، برآورد می کند و لذا می تواند جهت پیش وضعیت رطوبتی خاک و مدیریت بهتر آبیاری لوبیا از آن استفاده کرد.

با توجه به مشاهده همبستگی بالا و معنی دار رطوبت خاک با مقدار شاخص تنش آبی در ارقام مختلف لوبیا، لذا با استفاده از مجموع داده های برداشت شده رابطه ای برای تخمین رطوبت خاک با استفاده از شاخص تنش آبی استخراج شد (شکل ۷). در این شکل به خوبی روند افزایش شاخص تنش آبی گیاه با کاهش میزان رطوبت خاک نشان داده شده است. همچنان که از شکل مشخص است رابطه

جدول ۵- ضرایب همبستگی بین رطوبت خاک ناحیه ریشه و شاخص تنش آبی برای ارقام مختلف لوبیا

رقم لوبیا	رابطه درصد رطوبت حجمی ( $\theta$ ) با CWSI	ضریب همبستگی ( $r$ )
صدری	$\theta = -24.8CWSI + 22.2$	$r = 0.91^{**}$
COS 16	$\theta = -18.26CWSI + 14.16$	$r = 0.89^{**}$
کوشا	$\theta = -28.45CWSI + 19.17$	$r = 0.94^{**}$



شکل ۷- رابطه شاخص تنش آبی گیاه با رطوبت در کلیه ارقام لوبیاچیتی

## تعیین آستانه شاخص تنش آبی گیاه لوبیا با استفاده از رطوبت خاک

یکی از روش‌های مناسب جهت تعیین زمان مناسب آبیاری برای جلوگیری از تنش آبی در گیاهان، استفاده از ضریب تخلیه مجاز رطوبتی یا همان MAD است. در حقیقت این ضریب مقدار تخلیه مجاز رطوبت خاک را در فاصله‌ی بین دو آبیاری مشخص می‌کند که در این بازه آب موجود در خاک به راحتی در اختیار گیاه قرار گرفته ولی خارج از این بازه گیاه برای جذب آب با زحمت مواجه می‌گردد. بر اساس مقادیر رطوبت F.C و PWP خاک مزرعه و ضریب تخلیه مجاز رطوبتی لوبیا که بر اساس نشریه ۵۶ فائو (Allen et al., 1998)، گزارش شده مقدار رطوبت خاک که آستانه تنش آبی لوبیا را باعث می‌شود معادل ۱۹/۵ درصد است. با استفاده از رابطه بین رطوبت خاک و CWSI که در شکل ۷ ارائه شد، مقدار آستانه CWSI بر اساس حد تخلیه مجاز رطوبتی (۱۹/۵ درصد) معادل ۰/۲۱ به دست آمد. رابطه ۸ جهت تعیین زمان مناسب آبیاری لوبیاچیتی با استفاده از شاخص تنش آبی استخراج شد. در این رابطه با اندازه‌گیری VPD در ساعت مشخص مقدار مجاز تفاوت دمای برگ و هوا برای این ساعت مشخص خواهد شد. سپس مقدار اختلاف دمای هوا و گیاه نیز در این ساعت اندازه‌گیری شده و با مقدار مجاز مقایسه می‌شود. اگر این مقدار از اختلاف دمای مجاز کوچک‌تر باشد هنوز زمان آبیاری فرانسیده و اگر بزرگ‌تر یا برابر باشد زمان انجام آبیاری فرارسیده است.

$$(T_c - T_a)_a = 3.56 - 0.11VPD \quad (8)$$

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از روابط خطوط مبنای بالا و پایین برای سه رقم لوبیاچیتی شامل COS16، صدری و کوشا شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) تحت مقادیر مختلف آب آبیاری برآورد شد. مقایسه مقادیر شاخص تنش آبی با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که تیمارهای T120-K و T60-S به ترتیب با مقادیر ۰/۱۳ و ۰/۳۲ دارای کمترین و بیشترین مقدار شاخص تنش آبی می‌باشند. ضریب همبستگی بین رطوبت خاک ناحیه ریشه گیاه و شاخص تنش آبی برای ارقام صدری، COS 16 و کوشا به ترتیب ۰/۹۱، ۰/۸۹ و ۰/۹۴ برآورد شدند که برای هر رقم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده و نشان‌دهنده همبستگی بالایی بین شاخص تنش آبی گیاه و رطوبت خاک است. با توجه به رابطه بین شاخص تنش آبی و رطوبت خاک و نیز ضریب تخلیه مجاز رطوبتی برای لوبیا، مقدار آستانه شاخص تنش آبی لوبیا حدود ۰/۲۱ برآورد گردید و با استفاده از آن رابطه  $(T_c - T_a)_a = 3.56 - 0.11VPD$  به منظور تعیین زمان مناسب آبیاری برای لوبیاچیتی در منطقه مورد مطالعه ارائه شد.

## منابع

- احمدی، ح.، نصرالهی، ع.ح.، شریفی‌پور، م. و عیسوند، ح. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی آبیاری سویا را با استفاده از اختلاف دمای هوا و پوشش گیاهی، محله مدیریت آب آبیاری، دوره ۷، شماره ۱، صفحات ۱۲۱ تا ۱۳۳.
- احمدی، ح.، نصرالهی، ع.ح.، شریفی‌پور، م. و عیسوند، ح. ۱۳۹۷. تعیین شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) سویا برای مدیریت آبیاری جهت حداکثر عملکرد و بهره‌وری آب، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال ۸، شماره ۳۲، صفحات ۱۲۰ تا ۱۳۱.
- تراب‌نژاد، ه. ۱۳۹۶. مدیریت زمان آبیاری گیاه لوبیا چیتی با استفاده از دمای پوشش سبز گیاه در آبیاری به روش تیپ. پایان نامه کارشناسی ارشد. رشته مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب، دانشگاه محقق اردبیلی.
- سیفی، ا. میر لطیفی، س. م. دهقانی سانجی، ح. 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. مجله مدیریت آب و آبیاری، دوره ۴، شماره ۱: ۱۳۶-۱۲۳.
- شاهرخ‌نیا، م.ع. ۱۳۹۴. برنامه‌ریزی آبیاری مزارع و باغ‌ها با اندازه‌گیری دمای برگ گیاه. وزارت جهاد کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس، نشریه فنی، شماره ۷.
- عنابی میلانی، ا.، نیشابوری، م.، مصدقی، م. و زارع حق، د. ۱۳۹۵. روابط بین پتانسیل آب برگ، تنش - درجه - روز و تخلیه آب قابل استفاده در درخت بادام تحت تنش شوری، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۶، شماره ۲، صفحات ۱۸۹ تا ۲۰۶.
- فیضی اصل، و. فتوت، ا. آسترکی، ع. لکزبان، ا. و موسوی شلمانی، ا. ۱۳۹۳. تعیین موازنه آبی و مراحل بحرانی آن در گندم دیم با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه (CWSI). نشریه آب‌وخاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۸، شماره ۴: ۸۱۷-۸۰۴.
- ویسی، ش.، ناصری، ع.ع. و حمزه، س. ۱۳۹۵. تعیین زمان آبیاری مزارع نیشکر با استفاده از دماسنج مادون قرمز حرارتی و رطوبت خاک ناحیه ریشه. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد بیست و سوم. شماره ششم. ص ۲۳۵-۲۵۱.
- ویسی، ش.، ناصری، ع.ع. و حمزه، س. ۱۳۹۶. رابطه بین رطوبت غلاف برگ گیاه نیشکر و شاخص تنش آبی با استفاده از دماسنج مادون قرمز. مجله علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۰، شماره ۴، ص ۹۰-۷۷.



- Idso, S. B., R.D. Jackson., P.J. Pinter., R.J. Reginato. and J.L. Hatfield. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agric. Meteorol.* 24: 45-55.
- Khorsandi, A., Hemmat, A., Mireei, S. A., Amirfattahi, R. and Ehsanzadeh, P. 2018. Plant temperature-based indices using infrared thermography for detecting water status in sesame under greenhouse conditions. *Agricultural Water Management* 204: 222-233.
- Sezen, M. S., Yazar, A., Dasgan, Y., Yucel, S., Akyıldız, A., Tekin, S. and Akhoundnejad, Y., 2016. 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
- Zablotowicz, R. M., Focht, D. D. and Cannell, G. H. 1981. *Bradyrhizobium liaoningense* sp. nov., isolated from the root nodules of soybeans. *Intl. J. Sys. Bacteriol.* 45: 706-71.
- Ahi, Y., Orta, H. Gunduz, A. and Gultas, 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.
- Allen, R. G., Pereira, L.S. Raes, D. and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. *Irrigation and Drainage paper*, No. 56. FAO, Rome, Italy, 300 P.
- Asemanrafat, M. and Honar, T. 2017. Effect of water stress and plant density on canopy temperature, yield components and protein concentration of red bean (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Akhtar). *International Journal of Plant Production*, 11(2): 241-258.
- Colak, Y. B. 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.

## Estimation of Soil Moisture Content Using Crop Water Stress Index for Irrigation Management of Pinto Bean

S. Nouri<sup>1</sup>, A. Nasrolahi<sup>2\*</sup>, A. Maleki<sup>3</sup>, M. Sharifipour<sup>4</sup>

Recived: Sep.28, 2019

Accepted: Oct.30, 2019

### Abstract

This research was carried out to investigate changes in crop water stress index (CWSI) of bean and its relationship with soil moisture under different regimes of drip irrigation at Lorestan University College of Agriculture. For this purpose, three varieties of Pinto bean Contains sadri (S), COS16 (C) and Kusha (K) in main plots and irrigation regimes in four levels including T120 (120% crop water requirement), T100 (100% crop water requirement) T80 (80% crop water requirement) and T60 (60% crop water requirement) were subplots. The results showed that in all three cultivars of the beans, the highest values of CWSI during the season were related to severe tension (T60) which was equal to 0.3 and in contrast to (T120), the lowest values of water stress index and Equal to 0.14. The correlation coefficient between of soil moisture content and CWSI was found to be 0.91 which was significant at 1% probability level, and therefore a relation was used to estimate the soil moisture content using the CWSI. Finally, using the proposed relationship and the allowable drainage coefficient, the threshold value of CWSI was 0.21.

**Keywords:** Deficit irrigation, Drip irrigation, Leaf temperature, Moisture discharge allowed

1- M.Sc Student of Irrigation and Drainage Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University

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

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

4- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University

(\*- Corresponding Author Email: nasrolahi.a@lu.ac.ir)