

مقایسه تغییرات شاخص تنش آبی گیاه لویباجیتی در شرایط آبیاری سطحی و تیپ با استفاده از دماسنج مادون قرمز

علی حیدر نصرالهی*، حامد احمدی، یاسر سبزواری و سمیه نوری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۵/۱۲)

چکیده

شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) ابزاری است که می‌تواند برای پایش سریع وضعیت آب گیاه مورد استفاده قرار گیرد که یک نیاز کلیدی برای مدیریت دقیق آبیاری محصولات است. این تحقیق با هدف محاسبه شاخص CWSI برای لویباجیتی در منطقه خرم‌آباد در دو روش آبیاری سطحی و تیپ انجام شد. به این منظور طرحی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و آزمایش کرت‌های خرد شده اجرا شد که فاکتور اصلی شامل روش‌های آبیاری تیپ (T) و آبیاری سطحی (F) رقم‌های لویباجیتی شامل COS16 (C)، صدری (S) و کوشا (K) در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. نتایج نشان داد مقادیر CWSI محاسبه شده در آبیاری سطحی در طول دوره رشد گیاه همواره از آبیاری تیپ بیشتر بودند. بیشترین مقدار شاخص CWSI در هر دو روش آبیاری برای رقم صدری، معادل ۰/۲۰ و ۰/۲۶ به ترتیب برای روش تیپ و سطحی حاصل شد. تجزیه آماری نشان داد که اثر روش آبیاری بر روی مقدار شاخص تنش آبی گیاه در سطح پنج درصد معنی‌دار بود، ولی بین ارقام مختلف تأثیر معنی‌داری مشاهده نشد. بر همین اساس برای آبیاری تیپ و سطحی به ترتیب مقادیر ۰/۱۹ و ۰/۲۴ به عنوان مقادیر آستانه CWSI منظور شد و روابطی بر اساس اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا برای تعیین زمان آبیاری ارائه شد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، تنش آبی، دمای برگ

۱- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه لرستان

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: nasrolahi.a@lu.ac.ir

مقدمه

طراحی برنامه دقیق آبیاری از الزامات مدیریت آبیاری محصولات است، چرا که با برنامه‌ریزی دقیق آبیاری می‌توان از وارد شدن تنش به گیاه جلوگیری کرده و عملکرد آن را بهبود بخشید. در بین متغیرهای محیطی، تنش آبی را می‌توان مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر رشد گیاه معرفی کرد (۳۰). شدت تنش آبی وارد شده به گیاه بستگی به زمان و مدت‌زمان آن دارد (۱۰). تنش آبی به‌وجود آمده در فاصله زمانی بین دو آبیاری، که تحت تأثیر رطوبت خاک و شرایط جوی است نباید از حد معینی بیشتر شود (۲۰). لذا به روشی برای برنامه‌ریزی آبیاری نیاز است که بتوان زمان آغاز تنش آبی و میزان آبی که باید در دسترس گیاه قرار گیرد را تعیین کرد. آغاز تنش آبی گیاه در نتیجه زنجیره‌ای از تبادلات آب بین خاک-گیاه و اتمسفر است. اما معمولاً تعیین این زمان با اندازه‌گیری یکی از این زنجیره‌ها نظیر اندازه‌گیری مقدار آب خاک، پتانسیل آب گیاه یا محاسبه مقدار تقاضای آبی اتمسفر است (۸). شاخص‌های گیاهی به دلیل تعیین مستقیم وضعیت آب در گیاه و میزان تنشی که تحت تأثیر رطوبت خاک و اتمسفر ایجاد می‌شود در روش‌های برنامه‌ریزی آبیاری بیشتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (۲۵). از سال ۱۹۷۰، دمای پوشش سبز گیاه به‌عنوان یک شاخص گیاهی برای تعیین تنش آبی معرفی شد، زیرا گیاهان در شرایط تنش، روزنه‌های برگ خود را، به‌منظور حفظ آب می‌بندند، در نتیجه باعث کاهش تعرق و افزایش دمای سطح برگ خود می‌شوند. از این‌رو تحقیقاتی در جهت ارائه مدلی برای استفاده از دمای پوشش سبز گیاه در ارزیابی وضعیت آب گیاهان و کاربرد آن در انجام برنامه‌ریزی آبیاری صورت گرفت. ایدسو و همکاران (۱۵)، بر اساس این واقعیت که دمای پوشش سبز گیاه در شرایط حداکثر تعرق، برابر یا کمتر از دمای هوا است، مفهوم درجه تنش روزانه (SDD) (Stress Day Degree)) را ارائه کردند که از اختلاف دمای هوا و پوشش سبز در زمان حداکثر تنش روزانه (حدود یک ساعت و نیم بعدازظهر خورشیدی) محاسبه می‌شود. در این‌حال تحقیقات

نشان داد اختلاف دمای پوشش سبز گیاهی و هوا به‌تنهایی برای توصیف تغییرات پیچیده و معنی‌دار محیطی کافی نیست (۲۷). لذا تعیین عوامل تأثیرگذار و ایجاد ابزاری برای تنظیم آنها برای تعیین دقیق میزان تنش آبی اهمیت بسیار زیادی پیدا کرد. از این‌رو ایدسو و همکاران (۱۶) بر اساس نتایج تجربی و اندازه‌گیری‌های روزانه، نشان دادند در شرایط تعرق پتانسیل رابطه‌ای خطی بین اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا با کمبود فشار بخار اشباع (VPD) برقرار است. بر این اساس با توسعه مفهوم درجه تنش روزانه، شاخصی به‌نام شاخص تنش آبی گیاه (Crop Water Stress Index :CWSI) را معرفی کردند. در تحقیقات متعددی برای گیاهان و مناطق مختلف محاسبه شده و به‌عنوان شاخصی مناسب برای تعیین تنش آبی گیاه گزارش شده است (۶، ۷، ۱۱، ۱۲، ۲۳ و ۲۹). فیضی‌اصل و همکاران (۹)، بیان کردند اگر چه در محاسبه شاخص CWSI از مقادیر رطوبت خاک و گیاه استفاده نمی‌شود و تنها بازتاب‌های حرارتی گیاه مدنظر قرار می‌گیرد، اما این شاخص می‌تواند معیار مناسبی برای تعیین وضعیت آب گیاه باشد. ویسی و همکاران (۲۸)، گزارش کردند شاخص تنش آبی که از دمای پوشش گیاهی منتج می‌شود در مقایسه با اندازه‌گیری مستقیم رطوبت خاک و رطوبت غلاف برگ، شاخص بسیار حساس‌تر، دقیق‌تر، کم‌هزینه‌تر و سریع‌تری برای نمایش وضعیت آبی گیاه در تعیین زمان آبیاری در مزارع نیشکر است. احمدی و همکاران (۲)، بیان کردند شاخص CWSI به‌عنوان یک ابزار مناسب می‌تواند برای برنامه‌ریزی آبیاری مزرعه با توجه به اهداف مختلف مدیریتی مورد استفاده قرار گیرد. آنها مقادیر CWSI را در مراحل مختلف رشد برای دستیابی به حداکثر عملکرد و بهره‌وری آب محاسبه و ارائه کردند. اوسروش و همکاران (۲۱)، شاخص CWSI را یک شاخص قابل اعتماد برای بیان وضعیت آب درختان سیب عنوان کردند و بر مبنای آن برنامه‌ای برای سیستم آبیاری اتوماتیک ارائه کردند. تورس و همکاران (۲۶)، با بررسی CWSI در چند نوع میوه، مقدار آستانه را برای این شاخص جهت جلوگیری از

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
میزان تبخیر (میلی‌متر)	۲۶۳/۹	۳۸۴/۲	۳۴۱/۲	۳۰۴/۰

مواد و روش‌ها

این تحقیق از خردادماه لغایت شهریورماه سال ۱۳۹۷ به مدت چهار ماه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان با مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و ۳۳ درجه و ۲۶ دقیقه شمالی و در ارتفاع ۱۱۴۷ متری از سطح دریا انجام شد. پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد لوبیاچیتی از ایستگاه هواشناسی شهرستان خرم‌آباد که در مجاورت دانشکده قرار دارد گرفته شده و متوسط ماهانه برخی از آنها در جدول ۱ آورده شده است. بر طبق طبقه‌بندی آمبرژه این منطقه جزء مناطق سرد نیمه‌خشک محسوب می‌شود. همچنین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه از جمله؛ اسیدیته (PH)، شوری (EC)، درصد کربن آلی (OC)، درصد نیتروژن (N)، درصد فسفر (P)، درصد پتاسیم (K)، چگالی ظاهری (ρ_b) و درصد رطوبت حجمی در نقاط ظرفیت زراعی و پژمردگی دائم (FC و PWP) در جدول ۲ ارائه شده است که با توجه به نتایج آزمایش، بافت خاک مزرعه لومی رسی است. بر اساس توصیه‌های کودی، کود ریزمغذی در دو نوبت و کود نیترات در یک نوبت به روش دستی در اختیار گیاه قرار گرفت. به‌منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، طرحی در قالب بلوک‌های کامل تصادفی و آزمایش کرت‌های خرد شده اجرا شد. فاکتور اصلی شامل روش‌های آبیاری در دو سطح آبیاری تیپ (T) و آبیاری سطحی (F) در کرت‌های اصلی و فاکتور فرعی شامل رقم‌های لوبیاچیتی شامل COS16 (C)، صدری (S)

آفتاب‌سوختگی میوه‌ها ۵/۰ گزارش کردند. خرسندی و همکاران (۱۷)، کارایی بالای CWSI را به‌عنوان یک روش تشخیص غیرمخرب تنش آبی و برآورد میزان آب نسبی در کنگد تأیید کردند. سزن و همکاران (۲۴)، بیان کردند CWSI به‌خوبی نشان‌دهنده تغییرات در وضعیت آب در سطوح مختلف آبیاری است. آنها گزارش کردند که همبستگی بالایی بین CWSI و هدایت روزنه‌ای وجود دارد که می‌توان از آن برای تعیین زمان مناسب آبیاری استفاده کرد. لوبیاچیتی یکی از مهم‌ترین انواع لوبیا است که سطح زیر کشت آن در کشور حدود ۵۰ درصد کل سطح زیر کشت انواع لوبیا است و بیش از نیمی از تولید کل لوبیا به آن اختصاص دارد، ضمن اینکه بیشترین مقدار مصرف نیز مربوط به لوبیاچیتی است (۱۳). لوبیا به‌عنوان یک گیاه حساس به تنش خشکی و کم‌آبی معرفی شده است و این امر باعث شده است، تنش خشکی پس از بیماری‌ها و آفات دومین عامل کاهش دهنده عملکرد لوبیا باشد (۱۸ و ۱۹). استان لرستان با ۱۱۲/۸۷۵ هزار تن که معادل ۱۶/۸ درصد از کل حبوبات تولیدی است در جایگاه نخست تولید حبوبات و به‌ویژه لوبیا در کشور است (۱). ازاین‌رو در این تحقیق به‌منظور کنترل وضعیت تنش آبی در ارقام مختلف گیاه لوبیاچیتی تحت دو روش آبیاری جوی و پشته‌ای و تیپ، دمای پوشش گیاهی در طول دوره رشد با استفاده از دماسنج مادون قرمز اندازه‌گیری و با استفاده از آنها شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) مقایسه شد.

جدول ۲. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه

عمق خاک	بافت خاک	pH	EC (dS/m)	OC %	N% (ppm)	P% (ppm)	K% (ppm)	ρ_b (gr/cm ³)	FC (درصد حجمی)	PWP (درصد حجمی)
۰-۳۰	لوم-رسی	۷/۵۲	۰/۹۵	۰/۹۷	۰/۰۹	۲۴	۵۴/۵	۱/۱۲	۲۵/۶	۱۴/۵
۳۰-۶۰	لوم-رسی	۷/۷۱	۰/۶۴	۰/۷۸	۰/۰۸	۱۳	۲۹/۵	۱/۱۳	۲۶/۰	۱۴/۴

جدول ۳. خصوصیات کیفی آب آبیاری در طول فصل

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

$$ET_c = K_c \times ET_0 \quad (2)$$

در این رابطه: ET_c : تبخیر و تعرق گیاه لوبیاچیتی و K_c : ضریب گیاهی لوبیاچیتی است. بر اساس دور آبیاری سه روزه برای روش تیپ و هفت روزه روش سطحی و راندمان آبیاری ۹۵ درصد، مقدار آب مورد نیاز محاسبه و در اختیار گیاه قرار می‌گرفت. آب مورد استفاده از طریق چاه موجود در دانشکده کشاورزی تأمین و از طریق سیستم لوله‌کشی به داخل مزرعه انتقال می‌یافت. برخی خصوصیات کیفی آب آبیاری مانند اسیدیته (PH)، شوری (EC)، مجموع مواد جامد محلول (TDS)، کلسیم (Ca)، منیزیم (Mg)، سدیم (Na) و درصد سدیم قابل تبادل (SAR) در آزمایشگاه اندازه‌گیری و در جدول ۳ آمده است. در روش تیپ آب مورد نیاز برای آبیاری در دو تانکر ۲۰۰۰ لیتری ذخیره و سپس وارد شبکه می‌شد. انرژی مورد نیاز سیستم تیپ توسط پمپ تأمین شد. آب آبیاری توسط فیلتر توری تصفیه و حجم آن توسط کنتور حجمی کنترل و فشار آن نیز با استفاده از فشارسنج و شیر کنترل فشار، تنظیم شده و پس از عبور از لوله‌های ۵۰ و ۳۲ میلی‌متری توسط نوارهای تیپ با فواصل روزانه ۲۰ سانتی‌متر و آبدهی ۲/۱ لیتر در ساعت در اختیار گیاه قرار می‌گرفت. در طول دوره رشد در آبیاری تیپ تعداد ۲۹ نوبت آبیاری انجام شد که در مجموع عمق آبیاری در طول دوره رشد لوبیاچیتی ۴۴۰/۶ میلی‌متر به دست آمد. در آبیاری سطحی نیز حجم آب مورد نیاز توسط

و کوشا (K) بودند که در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. تیمارهای تحقیق شامل: روش آبیاری تیپ و رقم لوبیاچیتی (COS16) Tc، روش تیپ و رقم صدری (Ts)، روش تیپ و رقم کوشا (TK)، روش آبیاری سطحی و رقم لوبیاچیتی (FC) COS16، روش سطحی و رقم صدری (Fs) و روش سطحی و رقم کوشا (FK) است. هر کدام از کرت‌های آزمایشی با پنج جویچه انتها بسته به مساحت ۴×۲ متر ایجاد شدند. کاشت لوبیاچیتی در تاریخ ۴ خرداد و به صورت دستی انجام شد. به منظور دستیابی به تراکم مورد نظر (۴۰ بوته در مترمربع)، فاصله بوته‌ها روی ردیف پنج سانتی‌متر و عمق کاشت هفت سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تعیین نیاز آبیاری با استفاده از تست تبخیر کلاس A تعبیه شده در مزرعه انجام شد. بر اساس این روش ابتدا تبخیر و تعرق گیاه مرجع با استفاده از مقادیر تبخیر از تست و با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد:

$$ET_0 = K_p \times E_p \quad (1)$$

در این رابطه: ET_0 : تبخیر و تعرق گیاه مرجع، K_p : ضریب تست تبخیر و E_p : میزان تبخیر از تست تبخیر است. مقدار ضریب تست تبخیر ۰/۸ در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از ضرایب گیاهی ارائه شده برای لوبیا توسط فائو، که برای مراحل ابتدایی، میانی و انتهایی رشد به ترتیب ۰/۴، ۱/۱۵ و ۰/۳۵ برآورد شده تبخیر و تعرق گیاه لوبیاچیتی از طریق رابطه زیر محاسبه شد:

آمده برای اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا در برابر کمبود فشار بخار هوا تعیین شد (رابطه ۵):

$$VPD = (0.6108 * \exp(\frac{17.27 * T_a}{T_a + 237.3})) * (1 - \frac{RH}{100}) \quad (4)$$

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

در روابط فوق؛ VPD: کمبود فشار بخار اشباع (میلی بار)، T_a و T_c به ترتیب دمای هوا و دمای پوشش گیاهی (درجه سانتی گراد)، RH رطوبت نسبی (درصد) و a و b ضرایب تجربی هستند. برای محاسبه خط مبنای بالا ابتدا مقدار شیب فشار بخار (VPG) با استفاده از دمای هوا و پوشش سبز از طریق رابطه ۶ محاسبه شد و سپس با استفاده از ضرایب به دست آمده برای خط مبنای پایین (a و b) موقعیت خط مبنای بالا بر اساس رابطه ۷ تعیین شد:

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

$$(T_c - T_a)_{u,l} = a + b * |VPG| \quad (7)$$

برای محاسبه CWSI، دمای پوشش سبز در روزهای قبل آبیاری در فاصله ساعت‌های ۱۱ تا ۱۴ بعد از ظهر 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 ماه، CWSI به روش ایدسو طبق رابطه ۸ محاسبه شد (۱۶):

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{ll}}{(T_c - T_a)_{ul} - (T_c - T_a)_{ll}} \quad (8)$$

نتایج و بحث

محاسبه خطوط مبنای پایین و بالا

با توجه به معادله‌های ارائه شده در بخش قبل و داده‌های مزرعه ای در روزهای بعد از آبیاری معادلات خط مبنای بالا و پایین محاسبه شد. به علت بالا بودن تعداد داده‌های مزرعه‌ای، به عنوان مثال، محاسبات مربوط به اندازه‌گیری خط مبنای پایین در تاریخ ۷ تیر برای رقم COS 16 در روش تیپ در جدول ۴ ارائه شده است. با برازش معادله ۴ به داده‌های VPD و $T_c - T_a$ در جدول ۴ خط مبنای پایین و ضرایب a و b این معادله محاسبه شد. با استفاده از این ضرایب و روابط

لوله انتقال و توسط کنتور حجمی در اختیار گیاه قرار گرفت. در این روش تعداد ۱۶ نوبت آبیاری انجام شد که در مجموع عمق آبیاری در طول دوره رشد ۷۶۴/۳ میلی‌متر به دست آمد.

در طول دوره رشد گیاه دمای پوشش سبز در روزهای قبل و بعد از آبیاری برای تعیین خطوط مبنای و شاخص تنش آبی گیاه توسط دماسنج مادون قرمز اندازه‌گیری شد. دماسنج مادون قرمز دستگاهی است که تشعشعات مادون قرمز خارج شده از جسم دارای طول موج ۰/۷۵ تا ۱۰۰۰ میکرون را اندازه‌گیری می‌کند. زمانی که جسم در دید دماسنج مادون قرمز قرار می‌گیرد تشعشعات ساطع شده از جسم به دماسنج وارد شده و در کانون لنز دستگاه جمع‌آوری می‌شوند. در ادامه تشعشعات جمع‌آوری شده به یک سیگنال الکتریکی تبدیل شده و بر اساس رابطه بولتزمن (رابطه ۳) به درجه حرارت جسم تبدیل می‌شود و این سیگنال الکتریکی به سیگنال دیجیتالی تبدیل می‌شود که روی خروجی دستگاه نمایش داده می‌شود:

$$W = rT_s^4 \quad (3)$$

در این رابطه: r ثابت بولتزمن که برابر با $(5/674 \times 10^{-8})$ ، T_s دمای سطح برگ برحسب کلوین و W تشعشع خارج شده از سطح که برحسب کیلووات بر مترمربع است. در تیمارهای آبیاری تیپ تعداد ۳۶ نوبت (۱۹ روز قبل از آبیاری و ۱۷ روز بعد از آبیاری) و در تیمارهای آبیاری سطحی تعداد ۱۹ نوبت (۱۰ روز قبل از آبیاری و ۹ روز بعد از آبیاری) دمای پوشش سبز گیاه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها از فاصله نیم‌متری هدف (قطر هدف حدود ۶ سانتی‌متر) و زاویه ۳۰ تا ۴۵ درجه نسبت به افق انجام شد.

اندازه‌گیری دمای پوشش سبز به منظور تعیین خط مبنای پایین، در روزهای بعد از آبیاری از ساعت ۸ صبح تا ۱۴ بعد از ظهر و به فاصله زمانی یک ساعت صورت گرفت. با استفاده از دمای هوا و رطوبت نسبی که از طریق دستگاه ساکرومتر تعبیه شده در مزرعه اندازه‌گیری شد. مقدار کمبود فشار بخار اشباع نیز به صورت ساعتی و از رابطه ۴ محاسبه و در نهایت برای هر روز خط مبنای پایین از ترسیم نقاط به دست

جدول ۴. اندازه‌گیری و محاسبات خط مبنای پایین رقم COS 16 در ۷ تیر در روش تیپ

ساعت اندازه‌گیری	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
Tc (°C)	۲۷/۳	۳۰/۰	۳۱/۸	۳۲/۸	۳۳/۶	۳۳/۰	۳۲/۸
Ta (°C)	۲۷/۲	۳۴/۸	۳۶/۸	۴۰/۱	۴۰/۷	۴۱/۱	۴۰/۰
(Tc-Ta) (°C)	۰/۱۳	-۴/۸۰	-۵/۰۰	-۷/۳۳	-۷/۱۰	-۸/۱۰	-۷/۲۰
RH (%)	۱۹/۴	۱۷/۶	۱۶/۱	۱۰/۴	۹/۵	۸/۵	۹/۸
VPD (mbar)	۲۹/۰۹	۴۵/۸۵	۵۲/۱۱	۶۶/۴۹	۶۹/۳۳	۷۱/۶۰	۶۶/۵۸

جدول ۵. محاسبات مربوط به تعیین خط مبنای بالا رقم COS 16 در ۷ تیر در روش تیپ

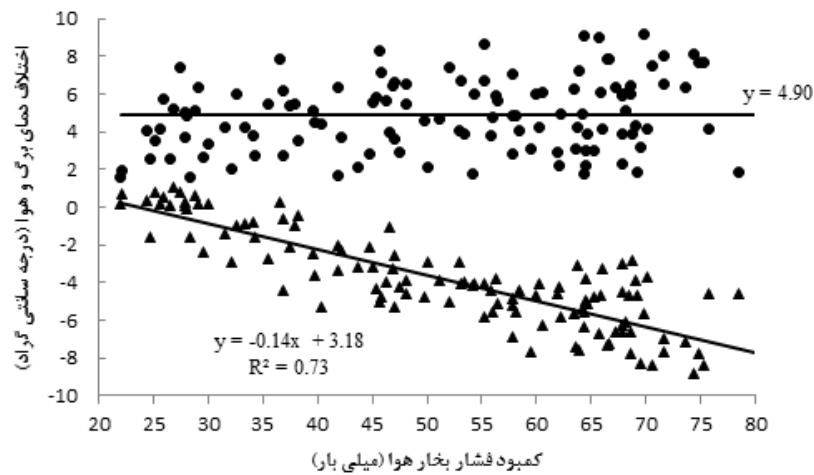
ساعت	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
Ta	۲۷/۲	۳۴/۸	۳۶/۸	۴۰/۱	۴۰/۷	۴۱/۱	۴۰/۰
a	۴/۰۳	۴/۰۳	۴/۰۳	۴/۰۳	۴/۰۳	۴/۰۳	۴/۰۳
b	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷	۰/۱۷
Tc	۳۱/۲۳	۳۸/۸۳	۴۰/۸۳	۴۴/۱۳	۴۵/۳۳	۴۵/۸۳	۴۴/۰۳
ea*	۳۵/۰۹	۵۴/۱۹	۶۰/۵۲	۷۲/۴۰	۷۷/۹۲۰	۷۹/۲۸	۷۲/۰۱
ec*	۴۴/۳۱	۶۷/۶۱	۷۵/۲۹	۸۹/۶۳	۹۵/۴۱	۹۷/۹۱	۸۹/۱۶
VPG	۹/۲۲	۱۳/۴۲	۱۴/۷۶	۱۷/۲۳	۱۸/۲۱	۱۸/۶۳	۱۷/۱۵
(Tc-Ta) ul	۵/۶۰	۶/۳۱	۶/۵۴	۶/۹۶	۷/۱۳	۷/۲۰	۶/۹۵

مورد نظر، محاسبات خط مبنای بالا در جدول ۵ ارائه شد. میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده در ساعت‌های مختلف به‌عنوان خط مبنای بالا در نظر گرفته شد.

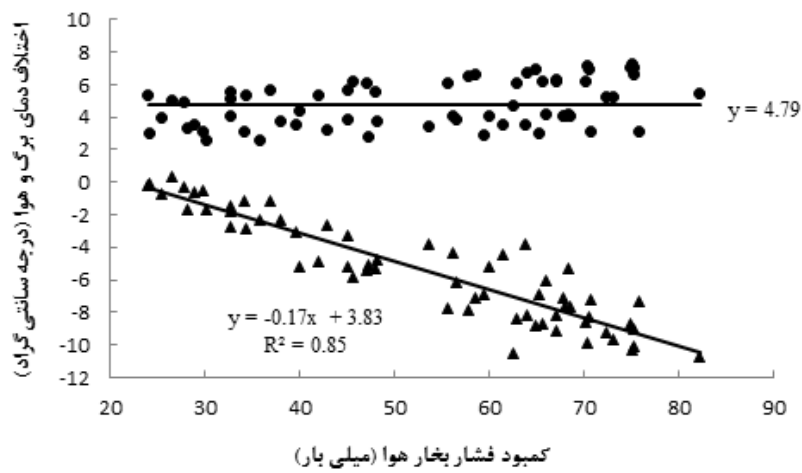
گفتنی است که برای تعیین خطوط مبنای پایین و بالا در طول فصل رشد گیاه، از کلیه داده‌های برداشت شده در طول فصل رشد استفاده شد. شکل‌های ۱ تا ۶ موقعیت خطوط مبنای پایین و بالا را برای هر تیمار در کل دوره رشد نشان می‌دهند. با توجه به شکل‌های ۱ تا ۶ ملاحظه می‌شود که با افزایش کمبود فشار بخار هوا، اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا افزایش می‌یابد. افزایش کمبود فشار بخار همراه با افزایش تبخیر و تعرق بوده و در صورتی که نیاز آبی گیاه فراهم باشد، جریان آب از ریشه به برگ، همواره برقرار بوده، گیاه خنک نگه‌داشته می‌شود. در چنین شرایطی اختلاف دمای هوا و پوشش سبز گیاه افزایش یافته (۲۲) و دمای گیاه نسبت به دمای هوا با شدت کمتری افزایش می‌یابد. در روابط به‌دست آمده در این شکل‌ها محدوده تغییرات کمبود

فشار بخار هوا در طول دوره در محدوده ۲۲/۰۴ میلی‌بار تا ۸۲/۲۰ میلی‌بار (۲/۲ تا ۸/۲ کیلوپاسکال) است. ایدسو (۱۴)، معادله خط مبنای پایین را برای لویبا به‌صورت $(T_c - T_a)_{1,1} = 2.91 - 0.23VPD$ ارائه کرد. آسمان رفعت و هنر (۳)، رابطه خط مبنای پایین را برای لویبا به‌صورت $(T_c - T_a)_{1,1} = 1.18 - 0.10VPD$ به‌دست آوردند.

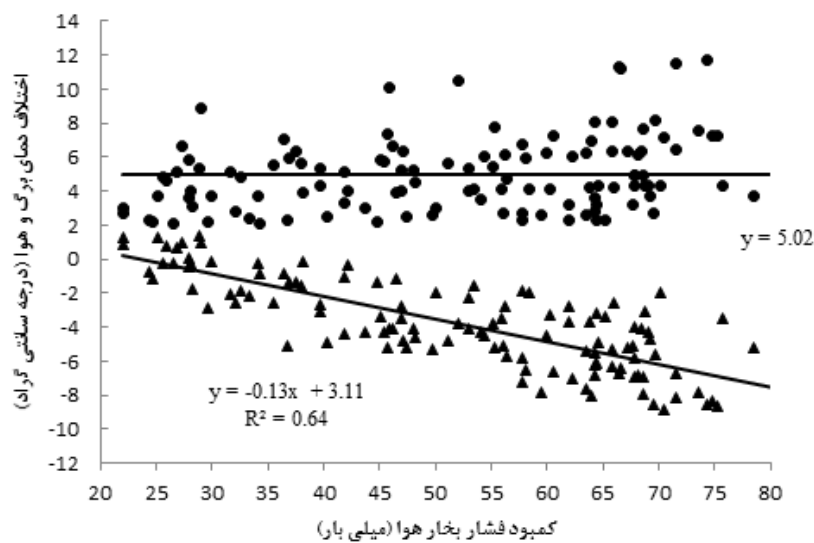
گیاهان در شرایط عدم تنش و بسته به مرحله رشد خود، پتانسیل جذب آب و در نتیجه میزان تعرق متفاوتی دارند. از این رو توصیه می‌شود برای استفاده از خطوط مبنای محاسبه شاخص CWSI، این خطوط مبنای هر ماه جداگانه ارائه شوند (۵). از سری داده‌های دمایی برداشت شده در طول هر ماه برای تعیین خطوط مبنای پایین و بالا استفاده شد و روابط به‌دست آمده برای هر تیمار در جدول ۶ آورده شده است. همان‌طور که گفته شد مقادیر به‌دست آمده برای خطوط مبنای هر ماه به‌دلیل تفاوت در میزان تعرق متفاوت است. ایدسو (۱۴)



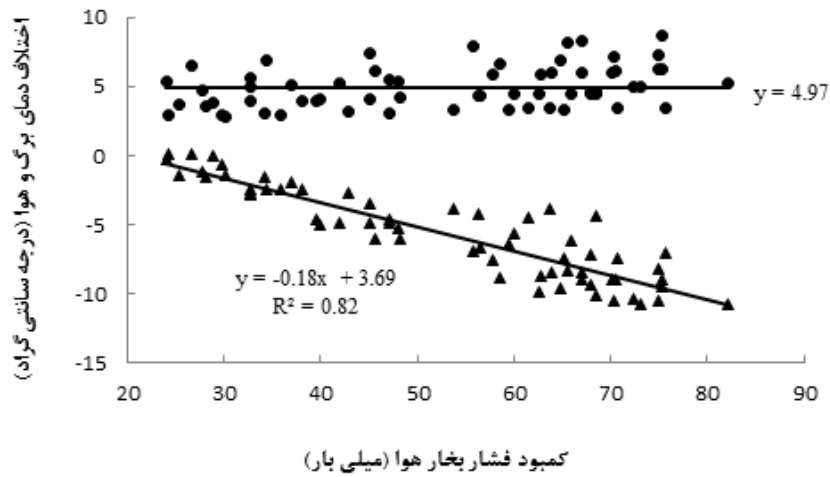
شکل ۱. نمودار خط مبنای پایین و بالا در کل دوره رشد رقم 16 COS در روش تپ.



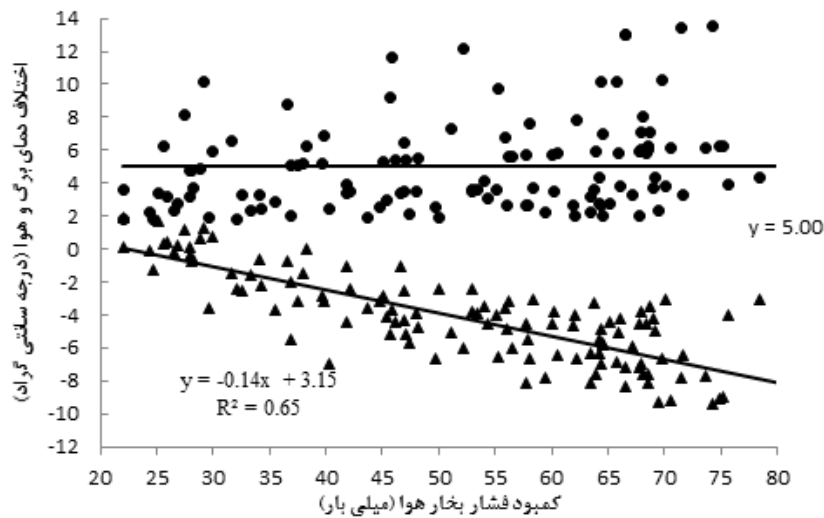
شکل ۲. نمودار خط مبنای پایین و بالا در کل دوره رشد رقم 16 COS در روش سطحی



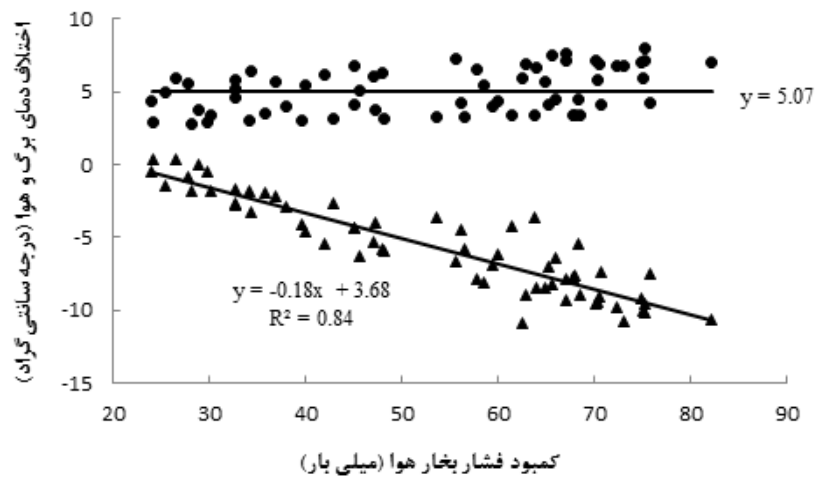
شکل ۳. نمودار خط مبنای پایین و بالا در کل دوره رشد رقم صدری در روش تپ



شکل ۴. نمودار خط مبنای پایین و بالا در کل دوره رشد رقم صدری در روش سطحی



شکل ۵. نمودار خط مبنای پایین و بالا در کل دوره رشد رقم کوشا در روش تپ



شکل ۶. نمودار خط مبنای پایین و بالا در کل دوره رشد رقم کوشا در روش سطحی

جدول ۶. روابط خط مبنای پایین و بالا در هر ماه برای تیمارهای مختلف

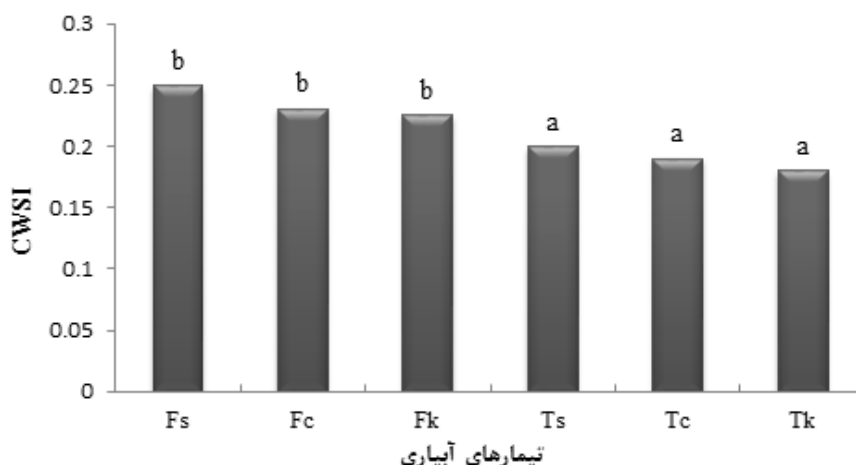
تیمار	ماه	خط مبنای پایین	R^2	خط مبنای بالا
TS	تیر	$(T_c - T_a)_{1,1} = 3.73 - 0.16VPD$	$R^2 = 85$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 6.41$
	مرداد	$(T_c - T_a)_{1,1} = 2.55 - 0.11VPD$	$R^2 = 67$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 3.93$
	شهریور	$(T_c - T_a)_{1,1} = 2.30 - 0.07VPD$	$R^2 = 83$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 3.17$
TK	تیر	$(T_c - T_a)_{1,1} = 3.51 - 0.17VPD$	$R^2 = 83$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 5.82$
	مرداد	$(T_c - T_a)_{1,1} = 2.62 - 0.12VPD$	$R^2 = 60$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 4.23$
	شهریور	$(T_c - T_a)_{1,1} = 2.03 - 0.10VPD$	$R^2 = 70$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 3.11$
TC	تیر	$(T_c - T_a)_{1,1} = 4.02 - 0.17VPD$	$R^2 = 84$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 6.56$
	مرداد	$(T_c - T_a)_{1,1} = 2.41 - 0.11VPD$	$R^2 = 69$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 3.86$
	شهریور	$(T_c - T_a)_{1,1} = 2.33 - 0.10VPD$	$R^2 = 80$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 3.39$
FS	تیر	$(T_c - T_a)_{1,1} = 3.76 - 0.19VPD$	$R^2 = 93$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 6.35$
	مرداد	$(T_c - T_a)_{1,1} = 3.10 - 0.16VPD$	$R^2 = 78$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 4.04$
	شهریور	$(T_c - T_a)_{1,1} = 2.37 - 0.11VPD$	$R^2 = 94$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 3.16$
FK	تیر	$(T_c - T_a)_{1,1} = 3.60 - 0.19VPD$	$R^2 = 95$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 6.32$
	مرداد	$(T_c - T_a)_{1,1} = 3.15 - 0.16VPD$	$R^2 = 83$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 4.31$
	شهریور	$(T_c - T_a)_{1,1} = 2.36 - 0.11VPD$	$R^2 = 91$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 3.14$
FC	تیر	$(T_c - T_a)_{1,1} = 4.11 - 0.19VPD$	$R^2 = 93$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 6.56$
	مرداد	$(T_c - T_a)_{1,1} = 3.09 - 0.16VPD$	$R^2 = 83$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 3.86$
	شهریور	$(T_c - T_a)_{1,1} = 2.46 - 0.11VPD$	$R^2 = 95$	$(T_c - T_a)_{u,1} = 3.27$

قبل آبیاری و خطوط مبنای بالا و پایین تعیین شده برای ماه های مختلف، شاخص تنش آبی گیاه برای هر ماه محاسبه و مقادیر متوسط آنها به عنوان شاخص CWSI برای کل دوره رشد لوبیاچیتی در نظر گرفته شد. در روش آبیاری تیپ رقم کوشا با متوسط $0/18$ و روش سطحی رقم کوشا و COS 16 با مقدار $0/23$ کمترین مقدار شاخص تنش آبی را در طول فصل دارند. در حالی که بیشترین مقدار شاخص در هر دو روش برای رقم صدری، معادل $0/20$ و $0/26$ به ترتیب برای روش تیپ و سطحی حاصل شد. مقایسه میانگین مقادیر شاخص تنش آبی گیاه در کل فصل برای تیمارهای مختلف با استفاده از آزمون دانکن نشان داد که در بین ارقام مختلف تفاوت معنی داری وجود ندارد، اما تأثیر روش آبیاری روی آن معنی دار است (شکل ۷). عامل مؤثر در تفاوت ایجاد شده

نیز بیان کرد شیب و عرض از مبدأ در معادله خط مبنای پایین در مراحل مختلف رشد گیاه تغییر می کنند، به طوری که در مراحل رویشی گیاه شیب منحنی منفی تر و عرض از مبدأ آن مثبت تر از مراحل زایشی است. در این تحقیق نیز همان طور که مشاهده می شود به عنوان مثال برای رقم صدری در روش تیپ، مقدار شیب خطوط مبنا در مراحل اولیه و رویشی رشد گیاه منفی تر ($-0/16$) از مقدار آن در مراحل میانی و زایشی ($-0/07$) است. همچنین مقادیر عرض از مبدأ در مراحل اولیه و رویشی گیاه با مقدار $3/73$ بیشتر از مقدار $2/30$ ، در مراحل میانی و زایشی رشد است.

محاسبه شاخص CWSI

بر اساس اندازه گیری های مزرعه ای انجام شده در روزهای



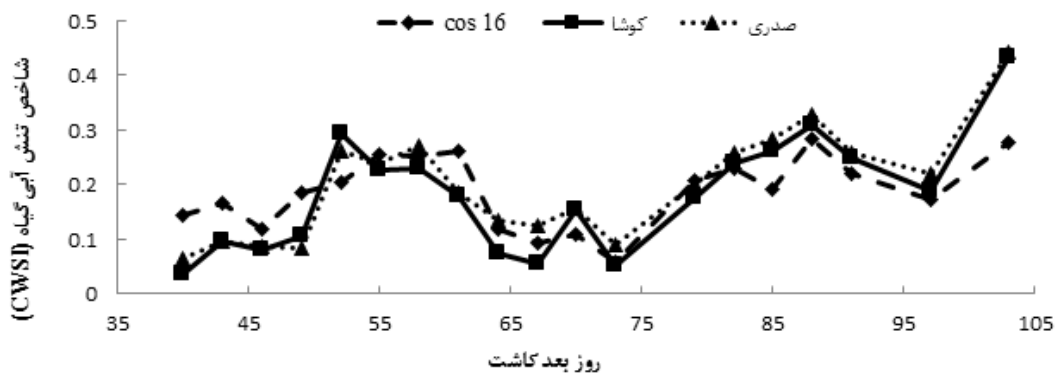
شکل ۷. مقایسه میانگین مقادیر CWSI در طول فصل رشد در تیمارهای مختلف آبیاری

تعیین زمان آبیاری با استفاده از شاخص CWSI

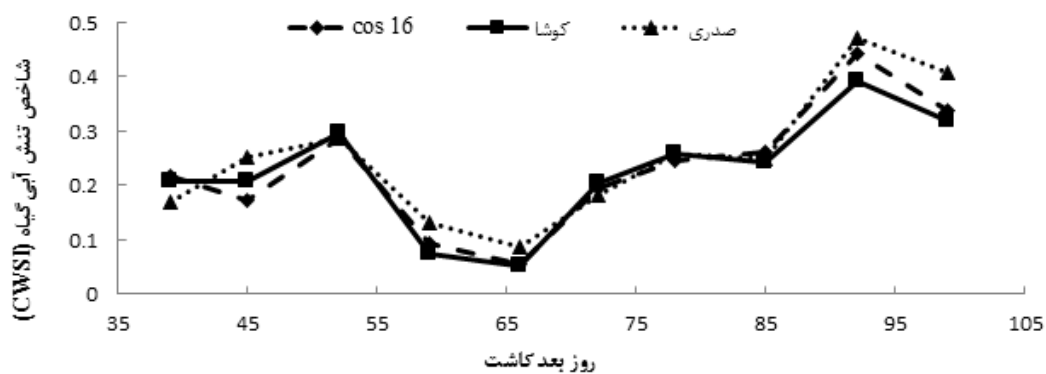
برای تعیین زمان آبیاری با استفاده از شاخص CWSI ابتدا لازم است مقادیر آستانه این شاخص را برای شروع آبیاری تعیین کرد. در این تحقیق برای معنی دار بودن اثر روش‌های آبیاری و عدم معنی‌داری ارقام، مقادیر میانگین CWSI برای ارقام مختلف در هر روش آبیاری به‌عنوان مقادیر آستانه در نظر گرفته شد. لذا برای آبیاری تیپ و سطحی به‌ترتیب مقادیر ۰/۱۹ و ۰/۲۴ منظور شد و دو رابطه برای زمان‌بندی این دو روش در جدول ۷ ارائه شد. برای استفاده از این روابط برای تعیین زمان آبیاری باید مقدار کمبود فشار بخار اشباع را در روزهای بعد از آبیاری و در بازه زمانی ساعت ۱۱ تا ۱۴ که گیاه با حداکثر تنش روزانه مواجه است اندازه‌گیری کرد و با جایگذاری در معادله ارائه شده در جدول، اختلاف مجاز برای دمای برگ و هوا را محاسبه کرد. از طرف دیگر اختلاف دمای هوا و پوشش گیاهی نیز در همین بازه زمانی با استفاده از دماسنج اندازه‌گیری می‌شود. از مقایسه مقدار اندازه‌گیری شده و مقدار مجاز محاسبه شده می‌توان زمان آبیاری را تعیین کرد، به‌طوری که اگر مقدار اندازه‌گیری شده بزرگ‌تر یا مساوی مقدار مجاز باشد زمان انجام آبیاری است ولی اگر مقدار اندازه‌گیری شده از مقدار مجاز کوچک‌تر باشد زمان آبیاری فرا نرسیده است.

در مقادیر شاخص تنش آبی گیاه، اختلاف دمای پوشش سبز و هوا است. شاخص تنش CWSI با تغییرات تبخیر و تعرق همبستگی منفی و بالایی دارد، به این صورت که با افزایش تبخیر و تعرق میزان شاخص CWSI کاهش می‌یابد (۴). از این‌رو با توجه به مقادیر شاخص تنش آبی برای آبیاری سطحی و تیپ می‌توان بیان کرد در روش تیپ دسترسی گیاه به آب بهتر بوده و گیاه از وضعیت رطوبتی مطلوب‌تری نسبت به روش سطحی برخوردار بوده است.

به‌منظور بررسی روند تغییرات شاخص CWSI در طول دوره رشد گیاه لوبیا، تغییرات این شاخص برای رقم‌های مختلف در روش تیپ و سطحی به‌ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود تقریباً روندی یکسان در رقم‌های مختلف وجود دارد. تغییرات این شاخص در طول دوره رشد نشان از تغییر وضعیت رطوبتی گیاه در مراحل مختلف رشد است. با توجه به این شکل‌ها، در مرحله رشد رویشی شاخص تنش آبی گیاه روندی صعودی داشته است. سپس با آغاز مرحله زایشی (گلدهی و اوایل شکل‌گیری دانه‌ها) کاهش پیدا کرده است و در انتهای دوره (مرحله پر شدن دانه و رسیدگی کامل)، دوباره روندی افزایشی به‌خود گرفته است.



شکل ۸. تغییرات شاخص CWSI در طول فصل رشد تیمارهای مختلف آبیاری تیپ



شکل ۹. تغییرات شاخص CWSI در طول دوره رشد تیمارهای مختلف آبیاری سطحی

جدول ۷. روابط برنامه‌ریزی آبیاری ذرت تحت روش‌های آبیاری سطحی و تیپ

روش آبیاری	رابطه زمان‌بندی آبیاری
آبیاری تیپ	$(T_c - T_a)_a = 4.1 - 0.11VPD$
آبیاری سطحی	$(T_c - T_a)_a = 4.0 - 0.14VPD$

نتیجه‌گیری

نیست. بر این اساس متوسط مقادیر شاخص تنش آبی گیاه در رقم‌های مختلف از هر روش محاسبه و به‌عنوان مبنایی برای تعیین زمان آبیاری در نظر گرفته شد. مقدار شاخص تنش آبی گیاه برای آبیاری تیپ و سطحی به ترتیب مقادیر ۰/۱۹ و ۰/۲۴ منظور شد و روابط $(T_c - T_a)_a = 4.1 - 0.11VPD$ و $(T_c - T_a)_a = 4.0 - 0.14VPD$ برای تعیین زمان آبیاری استخراج شد.

در این تحقیق، ابتدا روابط خطوط مبنای بالا و پایین برای هر ماه در سه رقم لوبیاچیتی شامل COS16، صدری و کوشا تحت دو روش آبیاری سطحی و تیپ تعیین شد و سپس با استفاده از این روابط متوسط شاخص تنش آبی گیاه در طول فصل محاسبه شد. نتایج این مطالعه نشان داد تأثیر روش‌های آبیاری روی مقادیر شاخص تنش آبی گیاه در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌داری دارد، اما تأثیر ارقام مختلف معنی‌داری

منابع مورد استفاده

1. Agricultural Statistics 2015-16. 2017. Ministry of Jahad-e-Keshavarzi, Deputy Director of Planning and Economics, Center for Information and Communication Technology. (In Farsi).
2. Ahmadi, H., A. H. Nasrollahi, M. Sharifipour and H. R. Isvand. 2018. Determination of soybean water stress index (CWSI) for irrigation management for maximum yield and water productivity. *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering* 8(32): 47-56. (In Farsi).
3. Asemanrafat, M. and T. Honar. 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.
4. Ben-Gal, A., E. Ityel, L. Dudley, S. Cohen, U. Yermiyahu, E. Presnov and U. Zigmund Land Shani. 2008. Effect of irrigation water salinity on transpiration and leaching requirements: A Case study for bell peppers. *Agricultural Water Management* 95: 587-597.
5. Boroumand Nasab, S., S. Taheri Ghannad and M. Moayeri. 2004. Application of Green Plant Cover Temperature for Irrigation Planning of Spring Corn in Khuzestan Conditions. *Scientific Journal of Agriculture* 27: 56-47. (In Farsi)
6. Colak, Y. B., A. Yazar, I. Colak, H. Akca and G. Duraktenkin. 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.
7. DeJonge, K. C., S. Taghvaeian, T. J. Trout and L. H. Comas. 2015. Comparison of canopy temperature-based water stress indices for maize. *Agricultural Water Management* 156: 51-62
8. Durigon, A. and Q. D. J. van Lier. 2013. Canopy temperature versus soil water pressure head for the prediction of crop water stress. *Agricultural Water Management* 127: 1- 6.
9. Feyizi Asl, V., A. Fotovat, A. Asteraky, A. Lakzian and A. Mousavi Shlamani. 2014. Determination of water balance and its critical stages in rainfed wheat using water stress index (CWSI). *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Technology)* 28(4): 817-804. (In Farsi).
10. Fattahi Dolatabadi, Kh., H. Babazadeh, P. Najafi and H. Sedghi. 2018. A Model for Irrigation Planning Using Difference Between Air Temperature and Corn Leaf Area. *Journal of Water Research in Agriculture* 2(32): 321-305. (In Farsi).
11. Gerhards, M., G. Rock, M. Schler and T. Udelhoven. 2016. Water stress detection in potato plants using leaf temperature, emissivity, and reflectance. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 53: 27-39.
12. Ghorbani, M. and S. Boroumand Nasab. 2016. The effect of salinity of water in surface irrigation on plant water stress index (CWSI) in plantation of summer corn irrigation. *Journal of Irrigation and Water Engineering* 7(25): 67-54. (In Farsi).
13. Habibpourkashefi, A., M. H. Qarineh, A. R. Shafeiynia and M. Roozrokh. 2015. Effects of zeolite levels on chlorophyll fluorescence of red beans (*Phaseolus vulgaris* L.) under drought conditions. *Quarterly Journal of Plant Growth Physiology* 7(28): 32-1. (In Farsi).
14. Idso, S. B. 1982. Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. *Agricultural Meteorology* 27(1-2): 59-70.
15. Idso, S. B., R. D. Jackson and R. J. Reginato. 1977. Remote sensing of crop yields. *Science* 196: 19-25
16. 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. *Journal of Agricultural Meteorology* 24: 45-55.
17. Khorsandi, A., A. Hemmat, S. A. Mireei, R. Amirfatahi and P. Ehsanzadeh. 2018. Plant temperature-based indices using infrared thermography for detecting water status in sesame under greenhouse conditions. *Agricultural Water Management* 204: 222-233.
18. Machado, N. N. B. and M. A. B. Duraes. 2006. Physiological and biochemical response of common bean varieties treated with salicylic acid under water stress. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 6: 269-277.
19. Mart´inez, J. P., H. Silva, J. F. Ledent and M. Pinto. 2007. Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *European Journal of Agronomy* 26: 30-38.
20. Nourbakhsh, S. S., M. Ghobadiniya, A. Shahraki, M. Imamzadehi and R. Nafchi. 2015. Effect of time and irrigation water on water use efficiency and bean yield in dry and semi-dry conditions. *Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Technology)* 29(1): 47-35. (In Farsi).
21. Osroosh, Y., R. T. Peters, C. S. Campbell and Q. Zhang. 2015. Automatic irrigation scheduling of apple trees using theoretical crop water stress index with an innovative dynamic threshold. *Computers and Electronics in Agriculture* 118: 193-203.

22. Saeedinia, M., S. Boroumand Nasab, A. Hooshmand, A. Soltani Mohammadi and B. Andarzian. 2016. The applicability of CWSI index for planning of corn irrigation with saline water in Ahvaz. *Water and Soil Knowledge* 26(1): 185-173. (In Farsi)
23. Seifi, A., S. M. Mir Latifi, H. Dehghani Sanij and M. Torabi. 2014. Determination of water stress index for pistachio trees under subtropical drip irrigation using temperature difference between plant and air corona. *Journal of Water and Irrigation Management* 4(1): 136-123. (In Farsi).
24. Sezen, S. M., A. Yazar and S. Tekin. 2019. Physiological response of red pepper to different irrigation regimes under drip irrigation in the Mediterranean region of Turkey. *Scientia Horticulturae* 245: 280-288.
25. Sezen, M. S., A. Yazar, Y. Dasgan, S. Yucel, A. Akyıldız, S. Tekin and Y. Akhoundnejad. 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.
26. Torres, C. A., A. Sepúlveda, L. Leon and J. A. Yuri. 2016. Early detection of sun injury on apples (*Malus domestica* Borkh.) through the use of crop water stress index and chlorophyll fluorescence. *Scientia Horticulturae* 211: 336-342.
27. Walker, G. K. 1980. Relation between crop temperature and the growth and yield of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.), Ph.D Thesis, University of California, Davis, CA.
28. Weysi, Sh., A. Naseri and S. Hamza. 2016. Determination of irrigation time of sugarcane farms using thermal infrared thermometer and soil moisture of root zone. *Water and Soil Conservation Research* 23(6): 251-235. (In Farsi).
29. Weysi, S., A. Naseri, S. Hamzeh and H. Bartholomeus. 2017. A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. *Agricultural Water Management* 189: 70-86.
30. Zia, S., G. Romano, W. Spreer, C. Sanchez, J. Cairns, J. L. Araus and J. Muller. 2013. Infrared thermal imaging as a rapid tool for identifying water stress tolerant maize genotypes of different phenology. *Agronomy and Crop Science* 75-84.

Comparison of Variations of Water Stress Index of Chika Bean Plant under Surface Irrigation and Drip Tape Irrigation using Infrared Thermometer

A. H. Nasrollahi*, H. Ahmadi, Y. Sabzevari and S. Nouri¹

(Received: May 30-2019 ; Accepted: August 3-2019)

Abstract

The Plant Water Resistance Index (CWSI) is a tool that can be used for the rapid monitoring of plant water status, which is a key requirement for the accurate product irrigation management. The purpose of this study was to calculate the CWSI index for bean hares in the Khorramabad region for two methods of surface irrigation and drip tape irrigation. For this purpose, a design was implemented in the form of randomized complete block design and split plot experiment. The main factors included drip tape irrigation (T) and surface irrigation (F), and the cultivars of Chibi cultivars including COS16 (C), Sadri (S) and diluted (K) served as sub-plots. By using the field measurements, the position of the upper and lower base lines was estimated for each treatment in different months and used to calculate the CWSI index. The results showed that CWSI values calculated in the surface irrigation during plant growth period were always higher than those in the drip tape irrigation. The highest value of CWSI index was obtained for the Sadri variety, which was equal to 0.20 and 0.26, for the type and surface method, respectively. Statistical analysis showed that the effect of irrigation method on the amount of water stress index was significant at 5% level, but there was no significant difference between different cultivars. According to the results of this study, the threshold values for CWSI were considered to be 0.19 and 0.24 for surface and drip tape irrigation respectively, and relationships were presented based on the differences in vegetation and air temperature to determine the irrigation time.

Keywords: Irrigation planning, Water stress, Leaf temperature.

1- Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Lorestan University, Khorramabad, Iran.

*: Corresponding author, Email: nasrollahi.a@lu.ac.ir