

کنار و کنوکارپوس بود. تجزیه آماری نشان داد که اثر روش آبیاری بر روی مقادیر شاخص تنش آبی گیاه در فصول بهار و پاییز در سطح پنج درصد معنی‌دار بود و با کاهش ۸۷ و ۵۹ درصدی آب مصرفی در سامانه آبیاری واترباکس و کوزه‌ای، میانگین مقادیر شاخص تنش آب گیاه افزایش یافت. ولی در فصل تابستان اختلاف معنی‌داری بین روش‌های آبیاری مشاهده نشد. هم‌چنین اثر نوع درخت بر شاخص CWSI در طول دوره در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در نهایت روابط رگرسیونی بر اساس اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا و نیز مقادیر متوسط CWSI برای تعیین زمان آبیاری ارائه شد که می‌توان برای ارزیابی تنش آب درختچه‌های مرتعی استفاده کرد.

واژگان کلیدی: آبیاری کوزه‌ای، واترباکس، دماسنج مادون‌قرمز و CWSI.

#### مقدمه

مراعت و جنگل‌ها جزء اصلی بوم‌سازگان زمین هستند که خدمات غیرقابل جایگزینی مانند تنظیم آب‌وهوا، حفاظت از خاک و آب، ترسیب کربن و حفاظت از تنوع زیستی را ارائه می‌دهند [۳۴]. گرم شدن کره زمین به‌طور قابل‌توجهی فراوانی و شدت رویدادهای خشک‌سالی را افزایش داده و اثرات منفی جدی بر بوم‌سازگان جنگلی خواهد داشت [۵]. وضعیت خشکی معمولاً با رطوبت خاک و شاخص تنش آبی توصیف می‌شود، اما وضعیت آب گیاه با رطوبت خاک و تقاضای تبخیر اتمسفر تنظیم می‌شود. بنابراین، شناسایی اثرات خشک‌سالی روی گیاهان تنها با استفاده از وضعیت رطوبت خاک ممکن است اشتباه باشد [۳۳ و ۳۶]. با توجه به اینکه گیاهان در شرایط تنش، روزه‌های برگ خود را به‌منظور حفظ آب می‌بندند، در نتیجه منجر به 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 گرفته است [۱۷].

شاخص تنش آبی گیاه<sup>۱</sup> (CWSI) معرفی شده توسط ایدسو و همکاران [۱۷] و جکسون و همکاران [۱۸] به‌طور گسترده به‌عنوان یک شاخص مناسب برای توصیف وضعیت آب گیاه شناخته شده است [۷، ۱۱ و ۳۳]. بر اساس این واقعیت که دمای پوشش سبز

## برنامه‌ریزی تأمین نیاز آبی درختچه‌های مرتعی تحت سامانه‌های مختلف آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه

غلامرضا بستانیان<sup>۱\*</sup>، محمد الباجی<sup>۲</sup>، عبدعلی ناصری<sup>۳</sup>، سعید برومند نسب<sup>۴</sup>

ناصر عالم زاده انصاری<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت ۱۴۰۲/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۹/۲۵

DOI: 10.22034/WMJ.2023.710720

#### چکیده

شاخص تنش آب گیاه بر اساس تفاوت دمای تاج و هوا، شاخصی مناسب برای پایش وضعیت آب اراضی کشاورزی می‌باشد. اما به‌ندرت برای ارزیابی وضعیت آب بوم‌سازگان جنگلی استفاده می‌شود. هدف از این تحقیق امکان استفاده از شاخص تنش آب گیاه (CWSI) برای برنامه‌ریزی آبیاری چهار گونه درخت مرتعی کهور، کنوکارپوس، برهان و کنار تحت چهار روش آبیاری سطحی، حباب‌ساز (بابلر)، کوزه‌ای و سامانه واترباکس بود. این تحقیق در سال ۱۴۰۰ در مزرعه آزمایشی دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد و به مدت نه ماه به طول انجامید. شاخص CWSI با اندازه‌گیری دمای تاج با استفاده از دماسنج مادون‌قرمز و هم‌چنین مقادیر کمبود فشار بخار برای تیمارهای مختلف آبیاری به‌دست آمد. نتایج نشان داد که تحت شرایط آبیاری مناسب، تفاوت دمای تاج-هوا و نرخ تعرق سطح تاج هر دو توسط تابش خالص دریافت شده در سطح تاج کنترل می‌شدند. بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر CWSI محاسبه‌شده به‌ترتیب مربوط به آبیاری واترباکس و کوزه‌ای با مقادیر ۱/۰۱ و ۰/۸۱ بود که مربوط به گونه‌های

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران و نویسنده مسئول  
Email: Rezabostanian@gmail.com

۲- دانشیار گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران  
۳- استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران  
۴- استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران  
۵- دانشیار گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

گیاه در شرایط حداکثر تعرق، برابر یا کم‌تر از دمای هوا است، ایدسو و همکاران [۱۷]، مفهوم درجه تنش روزانه<sup>۱</sup> را ارائه کردند که از اختلاف دمای هوا و پوشش سبز در زمان حداکثر تنش روزانه (حدود یک ساعت و نیم بعد از ظهر خورشیدی) به دست می‌آمد. گزنالس [۱۵] در تحقیقات خود استفاده از دماسنج‌های مادون قرمز جهت اندازه‌گیری دمای تاج (Tc) در تشخیص تنش آبی گیاهان به عنوان راهکاری مناسب، غیرمخرب و مقیاس‌پذیر از گیاه به مزرعه پیشنهاد نمود.

درک اثرات اصلی تنش آبی بر وضعیت آب گیاه به منظور تعریف برنامه‌ریزی مناسب آبیاری برای کاهش اثرات منفی خشکسالی بر رشد و تولید درختان مورد نیاز است. بنابراین محققان زیادی نظیر گارسیا-تجرا [۱۲] و شاکل و همکاران [۲۹] در سال‌های اخیر، مطالعاتی بر روی شاخص‌های وضعیت آب مبتنی بر گیاه جایگزین پتانسیل آب ساقه، که استاندارد برای مدیریت آبیاری مبتنی بر گیاه و ارزیابی تنش آبی در نظر گرفته می‌شود، انجام شده است.

در تحقیقات انجام شده مشخص شد که اختلاف دمای پوشش سبز گیاهی و هوا (dT) به‌تنهایی برای توصیف تغییرات پیچیده و معنی‌دار محیطی کافی نیست [۳۵]، لذا تعیین عوامل تأثیرگذار و ایجاد ابزاری برای تنظیم آن‌ها برای تعیین دقیق میزان تنش آبی اهمیت بسیار زیادی پیدا کرد. از این رو ایدسو و همکاران [۱۷] بر اساس نتایج تجربی و اندازه‌گیری‌های روزانه، نشان دادند در شرایط تعرق پتانسیل رابطه‌ای خطی بین اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا (dT) با کمبود فشار بخار اشباع (VPD) برقرار است. بر این اساس با توسعه مفهوم درجه تنش روزانه، شاخصی به نام CWSI را معرفی کردند. شاخص تجربی تنش آبی گیاه (CWSIdTe) معرفی شده توسط ایدسو و همکاران [۱۷] تنها بر اساس دو متغیر دمای هوا (T<sub>a</sub>) و رطوبت نسبی (RH)، به‌علاوه دمای تاج پوشش (Tc) قابل برآورد است. در این روش، اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا در شرایط بدون تنش آبی (dTII) تابعی از کمبود فشار بخار (VPD) بوده و رابطه dTII-VPD به‌عنوان خط پایه بدون تنش آبی (NWSB) شناخته می‌شود. به‌همین ترتیب، محاسبه اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا در شرایط بدون تعرق (dTul) نیز بر اساس NWSB است، اما VPD را به‌گرایان فشار بخار (VPG) تغییر می‌دهد، که به‌عنوان تفاوت بین فشار بخار اشباع در T<sub>a</sub> و فشار بخار اشباع در دمای بالاتر برابر با T<sub>a</sub> به‌اضافه وقفه به‌دست می‌آید. معادله اتصال CWSIdTe NWSB دارای مزایای چند متغیر، محاسبه راحت، قابلیت عمل قوی و مناسب بودن برای ارتقاء است. باین‌حال، CWSIdTe تنها زمانی می‌تواند وضعیت آب گیاه را با دقت نشان دهد که VPD عامل اصلی مؤثر بر dTII باشد. در حال حاضر، NWSB هایی که در محصولات یک‌ساله گزارش شده‌اند، تناسب بسیار خوبی نشان می‌دهند [۳، ۱۶، ۲۰ و ۲۲]. در مقابل، درختان اغلب پراکندگی زیاد یا حتی یک رابطه مثبت بین dTII و

VPD نشان می‌دهند [۲۱ و ۲۸]. بنابراین، قبل استفاده از CWSIdTe به‌عنوان شاخص وضعیت آب گیاه، لازم است روشن شود که آیا NWSB می‌تواند در گونه‌های درختی خاص ایجاد شود و دلایل پشت آن روشن شود.

شاخص تنش آب نظری گیاه (CWSIdTt) مقادیر dTul و dTII را بر اساس تعادل انرژی و معادله Penman-Monteith به‌دست می‌آورد [۱۸]. برای این روش، عوامل مهم هواشناسی مانند تابش خالص، سرعت باد (u) و VPD و هم‌چنین پارامترهای مقاومتی مانند مقاومت آیرودینامیکی (ra) و مقاومت تاج درخت (ETp (rcp) در محاسبه dTII در نظر گرفته می‌شوند. CWSIdTt مبنای نظری قوی دارد و به‌طور گسترده‌ای کاربرد دارد [۲، ۱۶ و ۲۴]. باین‌حال، این روش شامل پارامترهای زیادی است و برخی از آن‌ها مانند ra و rcp به‌خصوص برای سطوح پیچیده زیرین بوم‌سازگان جنگلی دشوار است [۲۴]. به‌دلیل ارتفاع نسبتاً بلند درختان، طول زبری برای تبادل حرکت و تبادل حرارت محسوس نسبتاً زیاد است. در نتیجه، مقادیر dT اندازه‌گیری شده در محیط‌های جنگلی نسبت به سایبان‌های زیر کشتزارها بیش‌تر می‌باشد [۲۴].

بنگال و همکاران [۸] در پژوهشی ثابت کردند که CWSIdTt نسبت به CWSIdTe در تخمین وضعیت آب باغ‌های زیتون مزیت دارد. باین‌حال، آگام و همکاران [۱] گزارش دادند که CWSIdTt عملکرد ضعیفی در ارزیابی وضعیت آب درختان زیتون نشان داد که ممکن است به‌دشواری تخمین دقیق ra مرتبط باشد. لیو و همکاران [۲۴] در پژوهشی اشاره کردند که CWSIdTt برای تشخیص وضعیت آب در درختان بلوط قابل‌استفاده نیست، که ممکن است ناشی از تخمین نادرست ra باشد، و دقت تشخیص CWSIdTt کم‌تر از CWSIdTe در گونه‌های اوکالپتوس و آکاسیا است. هان و همکاران [۱۶] نیز به همین نتیجه در ذرت دست یافتند. بنابراین، کاربرد و دقت استفاده از CWSIdTt برای ارزیابی وضعیت آب بوم‌سازگان جنگلی نیاز به تأیید بیش‌تر برای گونه‌های مختلف درختی دارد.

جونز [۱۹] در پژوهشی به‌منظور بهبود سادگی و پایداری فناوری پایش وضعیت گیاه-آب مبتنی بر dT، نتیجه گرفت که زمان مناسبی از روز باید برای اندازه‌گیری‌های میدانی انتخاب شود تا تأثیر عوامل هواشناسی بر dT کاهش یابد. لیو و همکاران [۲۴] پیشنهاد کردند که زمان بهینه برای اندازه‌گیری dT در گونه‌های درختی متفاوت است؛ بنابراین تعیین زمان بهینه پایش برای گونه‌های درختی خاص ضروری است. گونه‌های کهور<sup>۲</sup>، کنوکارپوس<sup>۳</sup>، برهان<sup>۴</sup> و کنار<sup>۵</sup> از گونه‌های درختچه‌ای معمولی و سازگار با اقلیم گرم و خشک بوده که سهم عمده‌ای در طرح‌های جنگل‌کاری و بیابان‌زدایی مناطق گرم و خشک ایران را به خود اختصاص داده‌اند. مطالعات انجام شده توسط کنشلو [۲۳] نشان داد، کهور به علت قابلیت ایجاد سریع

2. *Prosopis cineraria*
3. *Conocarpus*
4. *Albezia lebbek*
5. *Ziziphus*

1. Stress Day Degree (SSD)

مدت نه ماه در مزرعه تحقیقاتی دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه شهید چمران اهواز واقع در استان خوزستان و جنوب غربی ایران و در حاشیه غربی رود کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه شرقی و ارتفاع ۲۲/۵ متر از سطح دریا، انجام شد.

به منظور بررسی پارامترهای هواشناسی از آمار و اطلاعات ایستگاه سینوپتیک اهواز واقع در نزدیکی محل اجرای پروژه، استفاده شد. این ایستگاه دارای آب‌وهوای گرم و خشک با میانگین دمای سالانه ۳۲/۵۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه در این ایستگاه ۲۴۴/۶ میلی‌متر بوده که عمده بارش‌ها در فصول پاییز و زمستان اتفاق می‌افتد.

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، آزمایش در مزرعه‌ای به وسعت ۲۰۰۰ مترمربع انجام شد که در آن از درخت‌های دوساله در گلدان‌های نایلونی استفاده شد و درخت‌ها پس از انتقال به مزرعه در فواصل ۲×۲ متر کشت شدند. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. عامل اول نوع گیاه مرتعی در چهار سطح شامل کهور ( $T_1$ )، کونوکارپوس ( $T_2$ )، برهان ( $T_3$ ) و کنار ( $T_4$ ) و عامل دوم روش آبیاری در چهار سطح شامل سطحی ( $I_1$ )، واترباکس ( $I_2$ )، کوزه‌ای ( $I_3$ ) و بابلر ( $I_4$ ) بودند. به منظور محاسبه نیاز آبیاری درختان، از روش پیشنهادی دانشگاه کالیفرنیا که توسط کاستلو و جونز [۱۰] ارائه شد، مطابق رابطه (۱) استفاده شد.

$$ET_L = K_L \times ET_0 \quad (1)$$

در این رابطه،  $ET_0$  تبخیر و تعرق مرجع،  $ET_L$  تبخیر و تعرق فضای سبز و  $K_L$  ضریب فضای سبز می‌باشد. جایگزینی  $K_L$  به جای  $K_c$  به سه دلیل تنوع گونه‌های درختی در فضاهای سبز و جنگلی، تفاوت در تراکم درختان کشت‌شده و تفاوت در ریزاقليم‌ها نظیر مناطق سرد و سایه‌دار تا مناطق گرم و آفتابی و یا در معرض باد می‌باشد. مقدار  $K_L$  با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$K_L = K_S \times K_d \times K_{mc} \quad (2)$$

در رابطه (۲)،  $K_S$  عامل گونه‌ها،  $K_d$  عامل تراکم و  $K_{mc}$  عامل ریزاقليم می‌باشد. براساس مقادیر مندرج در جداول ارائه‌شده توسط

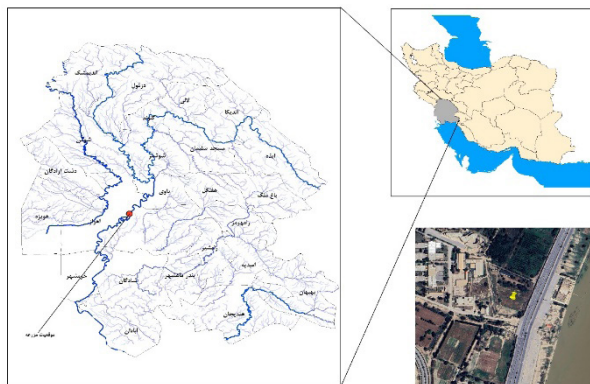
ریشه‌های جانبی و نفوذ زیاد به اعماق خاک، در برابر خشکی بسیار مقاوم است. هرچند مقاومت این درختچه در برابر گرما و خشکی زیاد است، ولی مقاومت آن در مقابل شوری به نسبت اندک می‌باشد. کونوکارپوس درختی است که در ایران به عنوان درخت حرای سفید چوب دکمه‌ای شناخته می‌شود. این درخت بسیار بادوام و در شرایطی چون دماهای بسیار بالا، زهکشی کم، آلودگی هوا، آب شور و غیره مقاومت بالایی دارد. چهارازی و همکاران [۹] نشان دادند که، کونوکارپوس یک پالایشگر طبیعی است به طوری که می‌توان از آن برای حذف آلاینده‌های فلزات سنگین و سموم از آب، خاک و هوا استفاده کرد.

درختچه برهان با نام گل ابریشم در ایران شناخته شده است. این درخت بومی آفریقا و آسیای گرمسیری است. این درختچه در استان‌های خوزستان، بوشهر، فارس و هرمزگان کشت می‌شود. برهان درختی با ارتفاع ۳۰ متر در مناطق بومی بوده، ولی در ایران به ندرت تا ۱۲ متر می‌رسد. پاترا و همکاران [۲۷] نشان دادند، شاخ و برگ این درختچه به عنوان یک منبع نیتروژن ارزان قیمت استفاده می‌شود و نیز دارای انرژی، مواد معدنی و ویتامین‌های زیادی می‌باشد.

درخت کنار یکی دیگر از درختان میوه مقاوم به شرایط سخت محیطی به ویژه شرایط خشکی و کم‌آبی، شوری و دماهای بالا به شمار می‌رود. به طوری که پاندی و همکاران [۲۶] در مطالعات خود نشان دادند، کنار به خوبی تحت شرایط مختلف آب و هوایی، از سطح دریا گرفته تا ارتفاع ۱۰۰۰ متری می‌تواند به خوبی رشد کند. این تحقیق باهدف استفاده از شاخص CWSI جهت برنامه‌ریزی تأمین نیاز آبی درختچه‌های مرتعی، مدیریت منابع آب و نیز افزایش بهره‌وری آب در طرح‌های بزرگ جنگل‌کاری و فضاهای سبز شهری در مناطق گرم و خشک اهمیت بالایی دارد. برای درک به موقع، سریع و دقیق وضعیت آب گیاه، افزایش دقت مدل‌های هیدرولوژیکی و ارزیابی ظرفیت ترسیب کربن در بوم‌سازگان جنگلی از اهمیت بالایی برخوردار است.

#### مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۴۰۰ حداقل ماه‌های فروردین تا آذرماه به



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی مزرعه آزمایشی

شد. سپس برای اندازه‌گیری حجم کل آب مصرفی یک عدد کنتور حجمی بر روی خط لوله اصلی و قبل از اتصال به مخزن ذخیره آب نصب شد. دور آبیاری برای این روش در طول مدت آزمایش از سه تا هفت روز در فصول مختلف سال متغیر بود.

به منظور پرکردن منظم کوزه‌ها و نیز جلوگیری از خشک شدن آن‌ها، پیشنهادهایی توسط محققان ارائه شده است [۶].

سامانه آبیاری بابلر یکی دیگر از روش‌های آبیاری به‌کاررفته در تحقیق بود که تعداد ۲۴ درخت با این روش آبیاری شدند. بابلرهای استفاده‌شده در طرح از نوع تنظیم شونده بود که میزان آبدهی آن‌ها با استفاده از پیچ تنظیم دبی بر روی ۲۴ لیتر در ساعت تنظیم شد. به‌همین منظور، شبکه آبیاری میکرو نیز به‌صورت مستقل طراحی و اجرا شد. در این سیستم دور آبیاری چهار روزه به‌دست آمد. حجم ناخالص آب موردنیاز درختچه‌ها در ماه‌های مختلف سال محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است.

یکی دیگر از روش‌های آبیاری مورد مطالعه در این پژوهش، سامانه آبیاری واترباکس بود. واتر باکس‌های بکار رفته در این آزمایش شامل دو مخزن ۷/۵ لیتری بود که جمعاً گنجایش ذخیره ۱۵ لیتر آب داشتند. با توجه به شرایط آب‌وهوایی اهواز و وقوع دماهای بالاتر از ۴۹ درجه سانتی‌گراد، برای هر واترباکس چهار فیله برای انتقال آب به محیط ریشه‌ها تعبیه شد (شکل ۳). واترباکس با پوشاندن خاک اطراف درخت به قطر ۵۰ سانتیمتر، مانع تبخیر رطوبت موجود در خاک می‌شود. واترباکس‌های مورد استفاده در این آزمایش دارای دو درپوش بودند، درپوش اول بر روی واتر

کاستلو و جونز [۱۰] برای هریک از پارامترهای فوق و نیز با در نظر گرفتن گونه‌های مورد مطالعه، تراکم کاشت و نیز شرایط اقلیمی مزرعه آزمایش، مقدار ضریب فضای سبز ( $K_L$ ) برای درختچه‌های  $T_1$ ،  $T_2$ ،  $T_3$  و  $T_4$  به ترتیب برابر ۰/۲، ۰/۵۵، ۰/۳ و ۰/۲ به‌دست آمد. با توجه به اینکه بخشی از نیاز آبی درختچه‌ها در برخی از ماه‌های سال از طریق بارندگی تأمین می‌شود، برای برآورد نیاز آبی خالص درختچه‌ها می‌بایست تفاضل میزان بارندگی مؤثر را مطابق با روش USDA از مقدار تبخیر و تعرق گیاه محاسبه نمود. جهت محاسبه باران مؤثر از روش پیشنهادی ماری [۲۵] استفاده شد. (رابطه ۳).

$$P_{eff} = P_{tot} \times \frac{(125 - 0.2P)}{125} \quad (3)$$

در این رابطه،  $P_{tot}$  بارندگی مؤثر و  $P_{eff}$  بارندگی ماهانه برحسب میلی‌متر می‌باشد. بنابراین با در نظر گرفتن راندمان آبیاری سطحی حجم ناخالص نیاز آبی درختچه‌ها در ماه‌های سال برآورد شد (جدول ۱).

دومین سامانه آبیاری مورد استفاده در این طرح، سامانه آبیاری کوزه‌ای بوده که یکی از روش‌های کارآمد آبیاری زیرسطحی می‌باشد. در این روش، آب از طریق دیواره کوزه‌های مدفون در خاک و به‌واسطه گرادیان فشاری که در سراسر دیواره کوزه وجود دارد، به‌صورت نشتی مستقیماً به محیط توسعه ریشه گیاه انتقال می‌یابد. در این آزمایش، از دو کوزه سفالی با ظرفیت هفت لیتر استفاده شد (شکل ۲). برای پرکردن کوزه‌ها، توسط لوله‌های پلی‌اتیلن نرم ۱۶ میلی‌متری، تمامی کوزه‌ها به یکدیگر وصل و بر روی هریک از کوزه‌ها یک عدد قطره‌چکان با دبی هشت لیتر در ساعت نصب



شکل ۲: نصب کوزه‌های سفالی جهت آبیاری درخت کنار

جدول ۱: حجم ناخالص نیاز آبی درختچه‌های مرتعی در ماه‌های مختلف سال به روش آبیاری سطحی (میلی‌متر)

نوع گیاه	ماه‌های سال (میلی‌متر)											
	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
کهور	۳۲	۷۶	۱۰۱	۱۰۴	۹۱	۷۲	۳۹	۰	۰	۰	۰	۵۱۳
کنوکارپوس	۱۶۶	۲۷۵	۳۴۳	۳۵۵	۳۲۳	۲۵۶	۱۵۸	۰	۰	۰	۲۶	۸۳
برهان	۸۷	۱۶۶	۲۱۵	۲۲۱	۱۹۴	۱۵۴	۹۰	۰	۰	۰	۰	۲۲
کنار	۴۶	۱۰۸	۱۴۴	۱۴۸	۱۳۰	۱۰۳	۵۵	۰	۰	۰	۰	۷۳۳



جدول ۲: حجم ناخالص نیاز آبی درختچه‌های مرتعی در ماه‌های مختلف سال به روش آبیاری بابلر (میلی‌متر)

نیاز سالانه (میلی‌متر)	ماه‌های سال (میلی‌متر)												نوع گیاه
	اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	
۳۶۲	۰	۰	۰	۰	۰	۲۷	۵۱	۶۴	۷۳	۷۱	۵۴	۲۳	کهور
۱۴۰۱	۵۹	۱۸	۰	۰	۰	۱۱۱	۱۸۱	۲۲۸	۲۵۱	۲۴۲	۱۹۴	۱۱۸	کنوکارپوس
۸۱۱	۱۶	۰	۰	۰	۰	۶۴	۱۰۹	۱۳۷	۱۵۶	۱۵۱	۱۱۷	۶۱	برهان
۵۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۳۹	۷۳	۹۱	۱۰۴	۱۰۱	۷۶	۳۲	کنار



شکل ۳: مراحل نصب سامانه آبیاری واترباکس

پتانسیل و صفر گیاه تحت شرایط محیطی داده‌شده به‌دست آورد، می‌توان شاخص CWSI را به‌صورت زیر محاسبه کرد [۱۷].

$$CWSI = \frac{(Tc-Ta) - (Tc-Ta)_{LL}}{(Tc-Ta)_{UL} - (Tc-Ta)_{LL}} \quad (۴)$$

در این رابطه،  $Tc-Ta$ : اختلاف دمای تاج درخت و هوا و  $(Tc-Ta)_{LL}$ : حد پایین  $Tc-Ta$  بوده در حالتی که گیاه با سرعت پتانسیل در حال تعرق می‌باشد.  $(Tc-Ta)_{UL}$ : حد بالای  $Tc-Ta$  بوده در حالتی که گیاه تعرق نمی‌کند. حدهای بالا و پایین  $Tc-Ta$  در رابطه (۴) از سه روش به‌دست می‌آیند.

روش اول: تحت شرایط خوب آب خاک (به‌طور ایده‌آل، حداکثر هدایت روزنه‌ای)،  $Tc-Ta$  تابعی خطی از VPD (خط مبنای بدون تنش آب، NWSB) است. مقادیر  $(Tc-Ta)_{LL}$  بر اساس VPD واقعی محاسبه می‌شود. حد بالاتر  $(Tc-Ta)_{UL}$  ثابت است. مقدار آب با حل همان معادله NWSB برای مقادیر منفی VPD فرضی به‌دست می‌آید که بیانگر اختلاف فشار بخار ایجادشده توسط اختلاف دمای هوا  $Tc-Ta$  در زمان  $VPD=0$  است [۱۷]. این روش ساده است، اما به آزمایش خاصی نیاز داشته و به مکان بستگی دارد. اگر اندازه‌گیری‌ها سه ساعت بعد از طلوع خورشید و سه ساعت قبل از غروب خورشید انجام گیرد، خط‌های مبنا مستقل از دما، تابش و سرعت باد هستند که برخی از محققین این استدلال را رد کرده‌اند [۱۴].

روش دوم: محاسبه حدهای بالا و پایین  $Tc-Ta$  نظری است. رابطه‌ی  $Tc-Ta$  معادلات تعادل انرژی و انتشار را ترکیب می‌کند:

باکس نزولات جوی را جمع‌آوری و به داخل مخزن خود هدایت می‌کند. درپوش دوم که سیاه‌رنگ است، ضمن ممانعت از تبخیر آب داخل مخزن، از ورود نور نیز به داخل مخزن جلوگیری کرده و در نتیجه جلبک‌ها نمی‌توانند در مخزن رشد نمایند. واترباکس علاوه بر قابلیت‌های فوق در طول روز با ایجاد میکروکلیماتی کوچک هوای اطراف درخت و خاک آن را سایه و خنک نموده و در طول شب، گرم‌تر از محیط اطراف نمودند. همچنین، واترباکس در مقابل وزش بادهای به‌عنوان قیم برای درخت ایفای نقش می‌کند.

#### اندازه‌گیری دمای تاج و محاسبه شاخص تنش آب گیاه

دمای تاج گیاه که تحت‌تأثیر محیط، مرحله فنولوژیکی رشد گیاه و کمبود رطوبت در خاک است، با استفاده از دماسنج مادون‌قرمز مدل Raytek- *ST<sup>TM</sup> 20 Pro* با دقت یک درجه سانتی‌گراد و دامنه طیفی ۸-۱۴ میکرومتر اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها زمانی انجام گرفت که هیچ ابری در آسمان نبود و هوا کاملاً صاف بود. اندازه‌گیری‌ها از هر درخت و در جهات شمالی، جنوبی، شرقی، غربی، جنوب شرقی و جنوب غربی انجام گرفت. از میانگین‌گیری این مقادیر، متوسط دمای تاج در هر درخت به‌دست آمد [۱۳]. اندازه‌گیری‌های دمای تاج از ساعت هشت صبح تا ساعت ۱۳ ظهر با فواصل زمانی یک‌ساعته در روز قبل و روز بعد از آبیاری انجام گرفت. مقادیر VPD با استفاده از معادلات سایکرومتری محاسبه شد [۴]. دمای تر و خشک با استفاده از دماسنج‌های جداگانه ایستگاه هواشناسی اندازه‌گیری شد. اگر بتوان دو حد  $Tc$  را برای تعرق

## نتایج و بحث

به منظور ترسیم خطوط مبنای بالا و پایین تنش در کل دوره رشد از روش ایدسو استفاده شد و اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا در مقابل کمبود فشار بخار اشباع رسم شد. پس از ترسیم خطوط مبنای مذکور معادلات رگرسیونی آن استخراج که در جدول‌های (۳) و (۴) آورده شده است.

بر اساس جدول‌های (۳) و (۴) معادلات خطوط حداقل تنش (خط مبنای پایینی) در مقادیر عرض از مبدأ و شیب دارای تفاوت می‌باشند که بیانگر یکسان نبودن خطوط مبنای پایینی برای این درختچه‌ها (در شرایط اقلیمی یکسان و روش‌های مختلف آبیاری) است. مقادیر حداقل و حداکثر شاخص CWSI برای تیمارهایی که خوب آبیاری شده‌اند و نیز تیمارهایی که دچار تنش هستند، به ترتیب برابر  $0/81$  و  $1/01$  مربوط به روش آبیاری کوزه‌ای و واترباکس بود.

مقادیر خط حداکثر تنش (خط مبنای بالایی) در تیمار آبیاری واترباکس نسبت به تیمار بدون تنش (آبیاری سطحی) بیش‌تر است که خود بیانگر قطع شدن تعرق توسط گیاه در اختلاف دمای کم‌تر (اختلاف دمای پوشش سبز و هوا) است. از طرفی روش آبیاری کوزه‌ای به واسطه اینکه آب به صورت مستقیم و مداوم در محل توسعه ریشه‌ها توزیع شده، مقادیر حداکثر تنش کم‌تری نسبت به سایر روش‌های آبیاری داشت. نتایج تحقیقات انجام شده بر روی درختان پسته در کالیفرنیا نشان داد، در تیمارهای خوب آبیاری شده و تیمارهای دچار تنش مقادیر CWSI به ترتیب برابر  $0/2$  و  $0/9$  بود [۳۲]. هم‌چنین در پژوهشی که بر روی درختان پسته در شهرستان سیرجان انجام شد، مقادیر حداقل و حداکثر شاخص تنش آبی به ترتیب برابر  $0/03$  و  $1/77$  به دست آمد [۳۰].

اشکال (۴) تا (۷) روند تغییرات شاخص CWSI در گونه‌های مختلف تحت روش‌های آبیاری در طول دوره اندازه‌گیری نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود مقادیر حداقل و حداکثر شاخص CWSI تقریباً روندی یکسان در گونه‌های مختلف داشته و از  $0/66$  تا  $1/01$  در نوسان است. تغییرات این شاخص در طول دوره نشان از تغییر وضعیت رطوبتی گیاه در ماه‌های مختلف سال است.

بررسی شکل‌های (۴) تا (۷) نشان می‌دهد، روش آبیاری و نیز میزان آب آبیاری در مقادیر شاخص تنش آبی اثرگذار است. به طوری که در سامانه آبیاری واترباکس، کاهش میزان آب آبیاری و عدم دسترسی درخت به آب کافی، منجر به بسته شدن روزنه‌ها، افزایش دمای سطح برگ و در نهایت افزایش مقادیر CWSI شد. از طرفی در سامانه آبیاری کوزه‌ای به خاطر توزیع یکنواخت آب در ناحیه توسعه ریشه‌ها، علی‌رغم کاهش میزان آب آبیاری نسبت به سامانه آبیاری سطحی، کاهش تبخیر از سطح خاک و نیز کاهش هدررفت آب سبب شده، رطوبت کافی در اختیار درخت قرار گرفته و اختلاف دمای برگ و هوا به حداقل برسد. همین امر سبب کاهش مقادیر CWSI شد.

حد بالا و پایین با اعمال مقاومت روزنه‌ای به سمت بی‌نهایت برای  $(Tc-Ta)_{UL}$  یا قرار دادن آن برابر با صفر برای  $(Tc-Ta)_{LL}$  به دست می‌آیند. این روش به آگاهی در مورد متغیرهایی نیاز دارد که به دست آوردن آن‌ها مشکل است (مانند تابش خالص و به‌ویژه مقاومت آیرودینامیک) [۱۸].

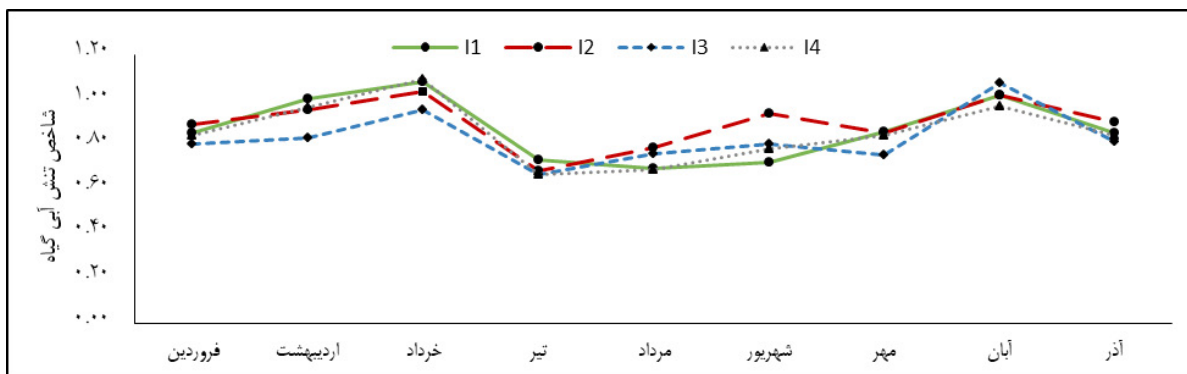
روش سوم: از این روش برای به دست آوردن حدود Tc-Ta با استفاده از اندازه‌گیری‌های مستقیم سطوح مرجع تر و خشک به صورت طبیعی یا مصنوعی استفاده می‌شود [۱۷]. در تحقیق حاضر، شاخص تنش آب گیاه با استفاده از روش سوم ایدسو و همکاران [۱۷] به دست آمد. مقادیر دمای هوا و VPD از داده‌های هواشناسی استخراج شدند. مقادیر NWSB با استفاده از معادله رگرسیونی خطی مقادیر Tc-Ta اندازه‌گیری شده در تیمارهای تحت آزمایش در برابر VPD در روزهای مورد نظر محاسبه شد. حد بالای  $(Tc-Ta)_{UL}$  با حل معادله NWSB برای  $VPD=0$  به دست آمد، سپس برای اختلاف فشار بخار القاء شده به وسیله اختلاف دمای هوا تصحیح شد [۱۷]. بنابراین، به منظور تعیین زمان آبیاری درختچه‌ها بر اساس رابطه (۴) و نیز روابط ارائه شده در جدول‌های (۳) و (۴)، 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 معادلات ارائه شده در جداول (۳) و (۴)، 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، به طوری 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. همان‌گونه که پیش‌تر عنوان شد، این تحقیق به روش فاکتوریل دو عامله و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی اجرا گردید. تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین داده‌ها در محیط نرم افزار MSTATC انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها و اثرات متقابل آن‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن انجام شد. پس از اینکه داده‌های مربوط به پارامتر خط مبنای بالایی و پایینی (متغیر وابسته) و تبخیر و تعرق (VPD) (متغیر مستقل) در روش‌های مختلف آبیاری و انواع درختان کشت شده استخراج و گردآوری شد، به منظور بررسی اثرات این عوامل بر روی هم‌دیگر در منطقه تحقیق از همبستگی پیرسون و رگرسیون خطی استفاده شد. کلیه تجزیه و تحلیل‌ها در نرم‌افزار SPSS 23 انجام شد. از آنجایی که هم متغیر مستقل و هم متغیر وابسته از نوع کمی و مقیاس دار بودند، از همبستگی پیرسون استفاده شد. به منظور سنجش و ارائه مدل ارتباط یک متغیر با یک یا چند متغیر دیگر از روش رگرسیون یا معادله خط برگشت که یکی از پرکاربردترین روش‌های آماری است استفاده شد. بنابراین برای یافتن رابطه بین متغیر وابسته و متغیر مستقل از رگرسیون خطی استفاده شد.

جدول ۳: معادلات خط مبنای پایین و بالا و متوسط شاخص تنش آبی درختچه‌های مرتعی در طول دوره طرح در تیمارهای موردبررسی

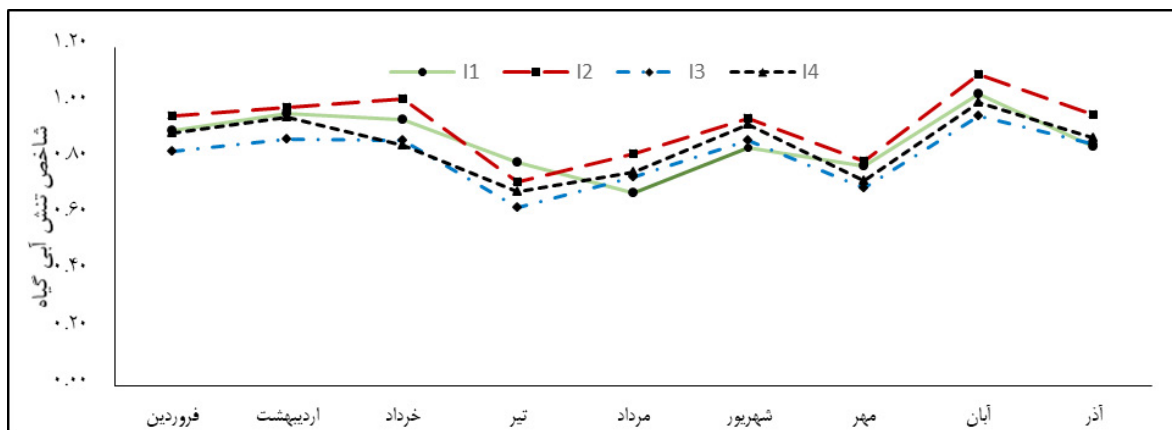
روش‌های آبیاری		نوع گیاه
سامانه واترباکس	سطحی (غرقابی)	
$(Tc-Ta)_{l,i} = 0.9301 - 0.0768VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.16$ $R^2 = 0.49$ $CWSI = 0.89$	$(Tc-Ta)_{l,i} = 0.4879 - 0.0801VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 4.90$ $R^2 = 0.49$ $CWSI = 0.86$	کهور
$(Tc-Ta)_{l,i} = 1.2863 - 0.735VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.85$ $R^2 = 0.47$ $CWSI = 0.92$	$(Tc-Ta)_{l,i} = 1.0023 - 0.0771VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.45$ $R^2 = 0.47$ $CWSI = 0.87$	کنوکارپوس
$(Tc-Ta)_{l,i} = 1.2781 - 0.0744VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.88$ $R^2 = 0.49$ $CWSI = 0.99$	$(Tc-Ta)_{l,i} = 1.1454 - 0.078VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.46$ $R^2 = 0.49$ $CWSI = 0.96$	برهان
$(Tc-Ta)_{l,i} = 1.0593 - 0.0725 VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.89$ $R^2 = 0.42$ $CWSI = 1.01$	$(Tc-Ta)_{l,i} = 0.8035 - 0.0769VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.54$ $R^2 = 0.44$ $CWSI = 0.98$	کنار

جدول ۴: معادلات خط مبنای پایین و بالا و متوسط شاخص تنش آبی درختچه‌های مرتعی در طول دوره طرح در تیمارهای موردبررسی

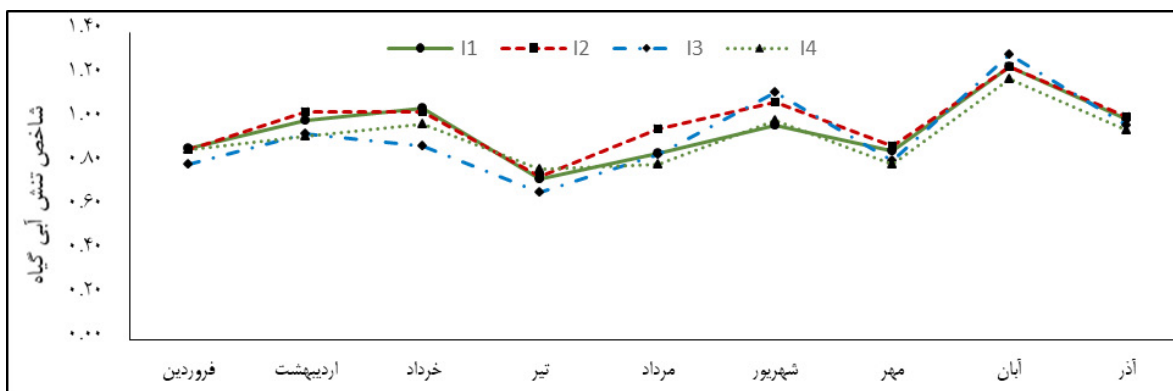
روش‌های آبیاری		نوع گیاه
بابلر	سامانه کوزه‌ای	
$(Tc-Ta)_{l,i} = 0.4848 - 0.0816VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 4.83$ $R^2 = 0.47$ $CWSI = 0.85$	$(Tc-Ta)_{l,i} = 0.7353 - 0.0791VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 4.68$ $R^2 = 0.49$ $CWSI = 0.83$	کهور
$(Tc-Ta)_{l,i} = 0.8147 - 0.0731VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.35$ $R^2 = 0.45$ $CWSI = 0.85$	$(Tc-Ta)_{l,i} = 1.1596 - 0.0774VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.14$ $R^2 = 0.49$ $CWSI = 0.81$	کنوکارپوس
$(Tc-Ta)_{l,i} = 1.0969 - 0.0788VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.36$ $R^2 = 0.48$ $CWSI = 0.92$	$(Tc-Ta)_{l,i} = 1.0348 - 0.078VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.17$ $R^2 = 0.48$ $CWSI = 0.93$	برهان
$(Tc-Ta)_{l,i} = 0.7412 - 0.0768VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.34$ $R^2 = 0.42$ $CWSI = 0.97$	$(Tc-Ta)_{l,i} = 0.9774 - 0.0776VPD$ $(Tc-Ta)_{u,i} = 5.11$ $R^2 = 0.43$ $CWSI = 0.88$	کنار



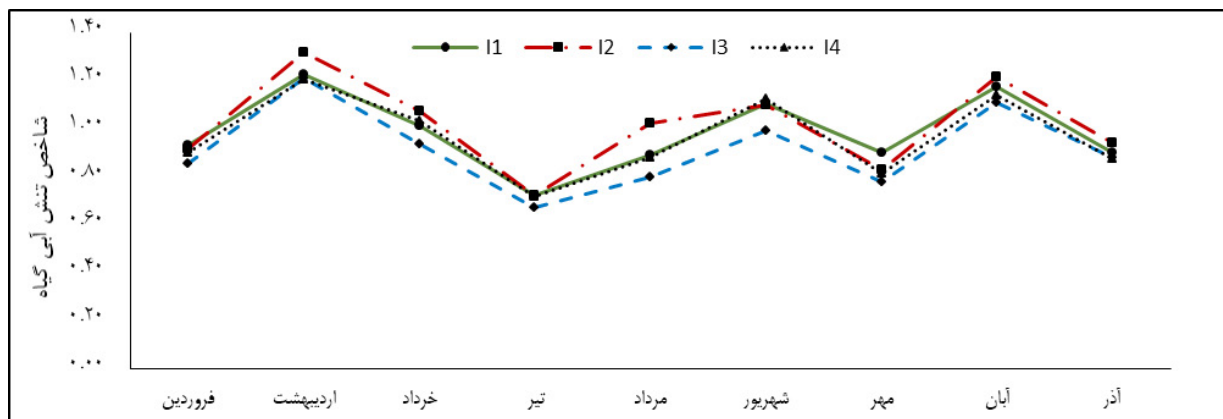
شکل ۴: تغییرات شاخص CWSI گونه کهور در طول دوره رشد تحت تیمارهای مختلف آبیاری



شکل ۵: تغییرات شاخص CWSI گونه کنوکارپوس در طول دوره رشد، تحت تیمارهای مختلف آبیاری



شکل ۶: تغییرات شاخص CWSI گونه برهان در طول دوره رشد، تحت تیمارهای مختلف آبیاری



شکل ۷: تغییرات شاخص CWSI گونه کنار در طول دوره رشد، تحت تیمارهای مختلف آبیاری



که به ترتیب برابر ۰/۷۴۲ و ۰/۷۸۴ بود (شکل ۸). این نتایج نشان می‌دهد که گونه‌های کهور و کنوکارپوس با شرایط اقلیمی محل آزمایش به‌خصوص ماه‌های گرم سال سازگاری بیش‌تری داشته و تحمل به گرما و خشکی بالاتری نسبت به سایر گونه‌ها دارند.

مقایسه روش‌های آبیاری از نظر اثرگذاری بر شاخص CWSI نشان داد که مقادیر شاخص تنش آب گیاه مربوط به تیمار آبیاری واتریاکس به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر روش‌های آبیاری بود و بیش‌ترین مقدار آن ۱/۰۱ بود. هم‌چنین کم‌ترین مقادیر آن مربوط به تیمار آبیاری کوزه‌ای با مقدار ۰/۷۹۸ بود (جدول ۶). این نتایج نشان می‌دهد، مدیریت روش آبیاری در استفاده از روش‌های آبیاری با حداقل تلفات آب نظیر روش آبیاری کوزه‌ای و واتریاکس می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی مقادیر آب آبیاری را کاهش دهد. نتایج پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه مدیریت روش‌های آبیاری نشان داد، تکنیک‌های صرفه‌جویی در مصارف آب آبیاری، نگرانی‌های ناشی از مرگ‌ومیر درختان و نیز نرخ پایین بقای گیاهان را برطرف کرده است [۳۱]. با توجه به نتایج به‌دست آمده و نرخ CWSI در جدول‌های (۳) و (۴)، علی‌رغم بالا بودن مقادیر شاخص تنش و نیز کمبود آب در دسترس درختان، با مدیریت روش‌های آبیاری و نیز استفاده از

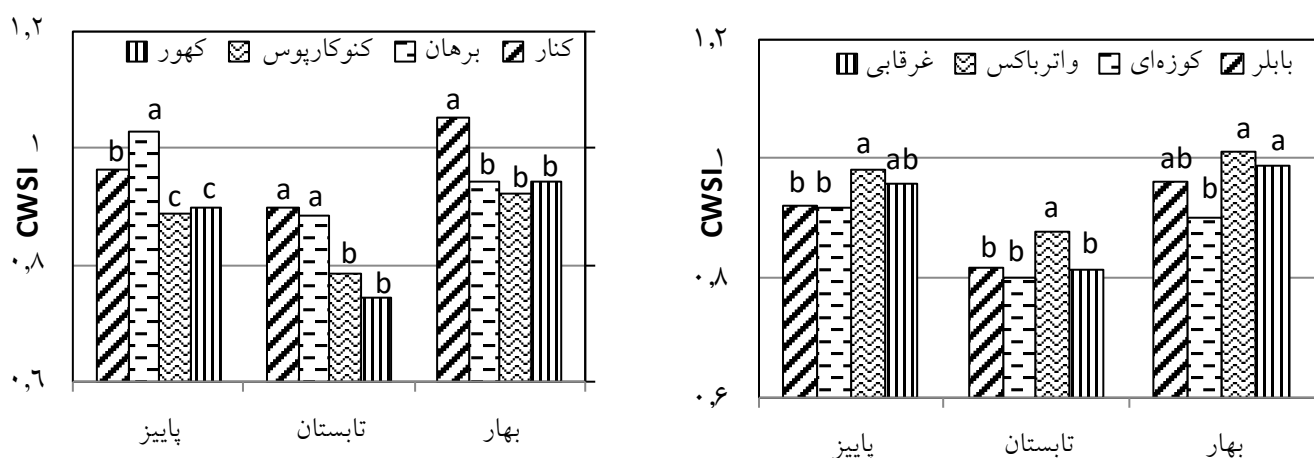
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر نوع درخت بر شاخص CWSI در فصول مختلف سال اختلاف معنی‌داری در سطح یک درصد داشتند (جدول ۵). روش‌های آبیاری به کار رفته در پژوهش در فصول بهار و پاییز در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری داشتند ولی در فصل گرم سال (تابستان) در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری بین روش‌های آبیاری مشاهده نشد (جدول ۵). هم‌چنین اثرات متقابل درخت و روش آبیاری در طول دوره پژوهش اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد نشان ندادند (جدول ۵).

بر اساس خط مبنای بالایی یا شرایط بدون تعرق  $(T_c - T_a)_{UL}$  در جداول (۳) و (۴) و هم‌چنین بر اساس تئوری ایدسو، حداکثر اختلاف دمایی که درختچه‌های مرتعی در مزرعه آزمایشی قادر به تحمل آن هستند از ۴/۶۸ تا ۵/۸۹ متغیر بود. مقایسه نوع درختچه‌های مرتعی کاشته شده در طرح از نظر تاثیر بر CWSI نشان داد، در طول دوره آزمایش، گونه برهان در فصل پاییز با متوسط مقدار ۱/۰۲۶ و گونه کنار در فصل بهار با متوسط ۱/۰۰۵ به ترتیب بیش‌ترین مقادیر CWSI را به خود اختصاص دادند (شکل ۸). هم‌چنین کم‌ترین مقادیر CWSI مربوط به کهور و کنوکارپوس در فصل تابستان بوده

جدول ۵: تجزیه واریانس اثر نوع درخت و روش‌های آبیاری بر شاخص تنش آب گیاه (CWSI) در طول دوره اندازه‌گیری

منابع تغییرات	درجه آزادی	CWSI		
		بهار	تابستان	پاییز
تکرار (ماه)	۲	۰/۱۰ <sup>ns</sup>	۰/۲۵ <sup>ns</sup>	۰/۳۸ <sup>ns</sup>
نوع درخت (T)	۳	۰/۰۰۴ <sup>**</sup>	۰/۰۰۷ <sup>**</sup>	۰/۰۰۵ <sup>**</sup>
روش آبیاری (I)	۳	۰/۰۰۳ <sup>*</sup>	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>*</sup>
درخت × آبیاری (T×I)	۹	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۲ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>
خطا	۳۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۳۱	۸/۷۲	۵/۶۷

<sup>ns</sup> عدم تفاوت معنی‌دار \* تفاوت معنی‌دار در سطح پنج درصد \*\* تفاوت معنی‌دار در سطح یک درصد



شکل ۸: مقایسه میانگین اثر روش‌های آبیاری و انواع درختچه‌های مرتعی بر شاخص تنش آب (CWSI) در فصل‌های مختلف

### نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف حفظ و بقاء گونه‌های مرتعی با کم‌ترین میزان مصرف آب و جلوگیری از توسعه مناطق بیابانی ناشی از گرما و خشک‌سالی انجام شد. بنابراین، شاخص CWSI به‌عنوان ابزاری جهت برنامه‌ریزی تأمین نیازآبی درختچه‌های مرتعی با استفاده از اطلاعات محیطی نظیر دمای هوا، دمای سطح برگ و کمبود فشار بخار هوا، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که شاخص CWSI به‌خوبی به تغییر وضعیت آب خاک واکنش می‌دهد، که نشان‌دهنده قابلیت آن برای پیش‌تنش آبی گیاه است. پارامترهای دمای هوا، دمای پوشش گیاه و کمبود فشار بخار هوا تأثیر زیادی بر آب مصرفی توسط گیاه و در نتیجه نیاز آبیاری دارند. این شاخص بیانگر وضعیت آب در دسترس گیاه بوده و با مقدار آب مصرفی گیاه دارای رابطه عکس است. بنابراین نتایج به‌دست آمده از شاخص CWSI را می‌توان در جهت بهبود برنامه‌ریزی آبیاری درختچه‌های مرتعی در عرصه‌های بزرگ نظیر پروژه‌های جنگل‌کاری استفاده نمود و حجم آب مصرفی در این پروژه‌ها را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. همانطور که انتظار می‌رفت، میانگین مقادیر CWSI به‌طور موازی با کاهش آب آبیاری افزایش یافت و مقادیر شاخص تنش آبی گیاه نیز افزایش یافت. در این تحقیق، ابتدا روابط خطوط منبای بالا و پایین برای هر چهار نوع درخت مرتعی تحت روش‌های آبیاری مختلف تعیین شد، سپس با استفاده از این روابط متوسط شاخص تنش آبی گیاه در فصول مختلف سال محاسبه شد. با استفاده از خطوط منبای استخراج شده، مقادیر متوسط CWSI در طول دوره پژوهش برای تیمارهای I<sub>1</sub>، I<sub>2</sub>، I<sub>3</sub> و I<sub>4</sub> به‌ترتیب برابر ۰/۹۱، ۰/۹۵، ۰/۸۶ و ۰/۸۹ بود که می‌توان برای برنامه‌ریزی آبیاری پیشنهاد داد. نتایج این مطالعه نشان داد تأثیر روش‌های آبیاری روی مقادیر شاخص تنش آبی گیاه در فصول بهار و پاییز در سطح پنج درصد اختلاف معنی‌داری دارند ولی در فصل تابستان اختلاف معنی‌داری در سطح پنج درصد مشاهده نشد. اما تأثیر گونه‌های مختلف درختی در این پژوهش بر شاخص CWSI در سطح یک درصد معنی‌دار بود. در نهایت متوسط مقادیر شاخص تنش آبی گیاه در گونه‌های درختی در هر روش آبیاری محاسبه و به‌عنوان منبای برای تعیین زمان آبیاری در نظر گرفته شد. یکی از محدودیت‌های استفاده از شاخص CWSI، اندازه‌گیری‌های مکرر دمای سطح برگ در عرصه‌های بزرگ می‌باشد که نسبتاً دشوار و نیازمند زمان می‌باشد. لذا پیشنهاد می‌گردد، در شرایط اقلیمی متفاوت، مزارع آزمایشی به‌منظور تعیین مقادیر شاخص CWSI شامل گونه‌های گیاهی غالب منطقه احداث شود و متناسب با نتایج به‌دست آمده، جداول برنامه‌ریزی آبیاری تهیه شود. سپس با استفاده از جداول مربوطه، می‌توان برنامه‌ریزی آبیاری طرح‌های بزرگ مرتعی و جنگلی بدون نیاز به اندازه‌گیری پارامترهای دمایی انجام داد. با توجه به اینکه تاکنون مطالعاتی بر روی درختچه‌های مرتعی انجام نشده، نتایج به‌دست آمده مربوط به حد پایین و بالای شاخص تنش آبی درختان مشمر نظیر پسته

سامانه آبیاری واترباکس به‌عنوان روشی مؤثر در حفظ، نگهداری و توسعه عرصه‌های وسیع جنگلی، می‌توان آب مورد نیاز این طرح‌ها را به حداقل ممکن رساند. براین اساس، مقادیر حجم آب مصرفی در واحد سطح (هکتار) برای هر یک از روش‌های آبیاری در طول دوره رشد (فروردین تا آذرماه) برآورد شد (جدول ۷). برآورد حجم آب مصرفی براساس فواصل کاشت ۴×۵ متر محاسبه شده است.

بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل نوع درخت و روش آبیاری اثر معنی‌داری بر شاخص تنش آب CWSI نشان نداد (جدول ۶). بیش‌ترین مقدار شاخص CWSI مربوط به کاربرد روش آبیاری واترباکس برای گونه کنار در فصل بهار با مقدار متوسط ۱/۱۰ بود (جدول ۶).

جدول ۶: مقایسه میانگین اثرات متقابل روش‌های آبیاری و درختچه‌های مرتعی بر شاخص تنش آب (CWSI) در فصول مختلف سال

تیمار	میانگین صفات و مقایسه آن‌ها به روش آزمون دانکن (در سطح احتمال پنج درصد)*		
	CWSI	تابستان	بهار
T <sub>1</sub> I <sub>1</sub>	۰/۹۰۶ cdefg	۰/۷۱۴ f	۰/۹۷۹ abcd
T <sub>1</sub> I <sub>2</sub>	۰/۹۲۳ cdefg	۰/۸۰۱ bcdef	۰/۹۵۸ abcd
T <sub>1</sub> I <sub>3</sub>	۰/۸۷۹ efg	۰/۷۴۲ ef	۰/۸۶۲ d
T <sub>1</sub> I <sub>4</sub>	۰/۸۸۲ efg	۰/۷۱۱ f	۰/۹۶۷ abcd
T <sub>2</sub> I <sub>1</sub>	۰/۸۸۷ defg	۰/۷۷۳ cdef	۰/۹۳۷ bcd
T <sub>2</sub> I <sub>2</sub>	۰/۹۵۲ abcdef	۰/۸۳۰ abcdef	۰/۹۸۵ abcd
T <sub>2</sub> I <sub>3</sub>	۰/۸۳۸ g	۰/۷۴۷ def	۰/۸۵۷ d
T <sub>2</sub> I <sub>4</sub>	۰/۸۶۹ fg	۰/۷۸۹ cdef	۰/۸۹۹ cd
T <sub>3</sub> I <sub>3</sub>	۱/۰۳۸ ab	۰/۸۵۵ abcde	۰/۹۷۶ abcd
T <sub>3</sub> I <sub>1</sub>	۱/۰۵۱ a	۰/۹۳۰ ab	۰/۹۸۴ abcd
T <sub>3</sub> I <sub>2</sub>	۱/۰۳۴ ab	۰/۸۸۲ abc	۰/۸۷۶ d
T <sub>3</sub> I <sub>3</sub>	۰/۹۸۳ abcde	۰/۸۶۱ abcde	۰/۹۲۶ bcd
T <sub>4</sub> I <sub>1</sub>	۰/۹۹۱ abcd	۰/۹۰۵ abc	۱/۰۶ ab
T <sub>4</sub> I <sub>2</sub>	۰/۹۹۵ abc	۰/۹۴۸ a	۱/۱۰ a
T <sub>4</sub> I <sub>3</sub>	۰/۹۲۳ cdefg	۰/۸۲۰ abcdef	۰/۹۹۸ abcd
T <sub>4</sub> I <sub>4</sub>	۰/۹۴۲ bcdefg	۰/۹۰۸ abc	۱/۰۵ abc

\* در هر ستون تفاوت بین میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند معنی‌دار نیست

جدول ۷: حجم آب مصرفی روش‌های مختلف آبیاری در طول دوره رشد (مترمکعب در هکتار)

حجم آب مصرفی در واحد سطح (مترمکعب در هکتار)			
سطحی	واترباکس	کوزه‌ای	بابلر
۸۰۵	۱۰۵	۳۳۰	۶۱۹

landscape coefficient method and water use classification of landscape species III (WUCOLS III). Available at: <http://www.owue.water.ca.gov/docs/wucols00>. Accessed 10 April 2013.

11- Egea, G., Padilla-Díaz, C.M., Martínez-Guanter, J., Fernández, J.E., and Pérez-Ruiz, M. 2017. Assessing a crop water stress index derived from aerial thermal imaging and infrared thermometry in super-high density olive orchards. *Agricultural Water Management*. 187: 210–221.

12- García-Tejera, O., López-Bernal, A., Orgaz, F., Testi, L., and Villalobos, F.J. 2021. The pitfalls of water potential for irrigation scheduling. *Agriculture Water Management*. 243:106522.

13- Glenn, D., Worthington, J., Welker, W., and Mc-Farland, M. 1989. Estimation of peach tree water use using infrared thermometry. *American Society for Horticultural Science*. 114:737–741.

14- Goldhamer, D.A. 2005. Irrigation Management. In: Ferguson, L. (Eds.), *University of California Pistachio Production*. 103-116.

15- Gonzalez-Dugo, V., Testi, L., Villalobos, T.F.J., López-Bernal, A., Orgaz, F., Zarco-Tejada, P.J. and Fereres, E. 2020. Empirical validation of the relationship between the crop water stress index and relative transpiration in almond trees. *Agricultural Water Management*. 108128: 292-293.

16- Han, M., Zhang, H., DeJonge, K.C., Comas, L.H., and Gleason, S. 2018. Comparison of three crop water stress index models with sap flow measurements in maize. *Agricultural Water Management*. 203: 366–375.

17- Idso, S.B., Jackson, R.D.P.J., Pinter, J., Reginato, R.J., and Hatfield, J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. *Agricultural Meteorol*. 24: 45–55.

18- Jackson, R.D., Idso, S.B., and Reginato, R.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*. 17 (4): 1133–1138.

19- Jones, H.G. 2007. Monitoring plant and soil water status: established and novel methods revisited and their relevance to studies of drought tolerance. *Journal of Experimental Botany*. 58 (2): 119–130.

20- Khorsandi, A., Hemmat, A., Mireei, S.A., Amirfatahi, 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.

21- King, B.A., and Shellie, K.C. 2016. Evaluation of neural network modeling to predict non-water-stressed leaf temperature in wine grape for calculation of crop water stress index. *Agricultural Water Management*. 167: 38–52.

توسط محققین دیگر و درختچه‌های مورد مطالعه در این آزمایش قابل مقایسه نیست. لذا پیشنهاد می‌گردد مطالعاتی در خصوص سایر درختچه‌های مرتعی و جنگلی در شرایط آب‌وهوایی مشابه انجام و با نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مقایسه گردد.

## منابع

1- Agam, N., Cohen, Y., Berni, J.A.J., Alchanatis, V., Kool, D., Dag, A., Yermiyahu, U. and Ben-Gal, A. 2013. An insight to the performance of crop water stress index for olive trees. *Agricultural Water Management*. 118: 79–86.

2- Akuraju, V.R., Ryu, D. & George, B. 2021. Estimation of root-zone soil moisture using crop water stress index (CWSI) in agricultural fields. *GIS Science & Remote Sensing*. 58: 340–353.

3- Alghory, A. and Yazar, A. 2018. Evaluation of crop water stress index and leaf water potential for deficit irrigation management of sprinkler-irrigated wheat. *Irrigation Science*. 37 (1): 61–77.

4- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. 1998. *Crop Evapotranspiration*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 299p.

5- Anderegg, W.R.L., Schwalm, C., Biondi, F., Camarero, J.J., Koch, G., Litvak, M., Ogle, K., Shaw, J.D., Shevliakova, E., Williams, A.P., Wolf, A., Ziaco, E., and Pacala, S. 2015. Pervasive drought legacies in forest ecosystems and their implications for carbon cycle models. *Science*. 349 (6247): 528–532.

6- Bainbridge, D.A. 2001. Buried clay pot irrigation: a little known but very efficient traditional method of irrigation. *Agricultural Water Management*, 48: 79–88.

7- Bellvert, J., Marsal, J., Girona, J., Gonzalez-Dugo, V., Fereres, E., Ustin, S. and Zarco-Tejada, P. 2016. Airborne thermal imagery to detect the seasonal evolution of crop water status in peach, nectarine and saturn peach orchards. *Remote Sensing*. 8: 39–56.

8- Ben-Gal, A., Agam, N., Alchanatis, V., Cohen, Y., Yermiyahu, U., Zipori, I., Presnov, E., Sprintsin, M., and Dag, A. 2009. Evaluating water stress in irrigated olives: correlation of soil water status, tree water status, and thermal imagery. *Irrigation Science*. 27 (5): 367–376.

9- Chehrazi, M., Shirakani, A., Balef, R., Khoradmehr, A., Rasti, N., and Tamadon, A. 2021. *Conocarpus Tree the Marine-Medicinal Treasure of Southern Iran: A Review of Botanical, Phytochemical and Medicinal Properties*. *Iranian South Medical Journal*, 24 (2): 111-125.

10- Costello, L.R., and Jones, K.S. 2000. A guide to estimating irrigation water needs of landscape plantings in California—the

- 30- Seifi, A., Mirlatifi, S.M., Deghani Sanich, H. & Torabi, M. 2014. Determination of Crop Water Stress Index for Pistachio Trees under Subsurface Drip Irrigation Using Canopy-Air Temperature Difference. *Water and Irrigation Management*. 4 (1): 123-136. (In perssian).
- 31- Tapia, P.I., Negoita, L., Gibbs, J.P., and Jaramillo, P. 2019. Effectiveness of water-saving technologies during early stages of restoration of endemic *Opuntia cacti* in the Galapagos Islands. Ecuador. *PeerJ*. 7, e8156.
- 32- Testi, L., Goldhamer, D.A., Iniesta, F., and Salinas, M. 2008. Crop water stress index is a sensitive water stress indicator in pistachio trees. *Irrigation Science*. 26: 395-405.
- 33- Tong, X., Mu, Y., Zhang, J., Meng, P., and Li, J. 2019. Water stress controls on carbon flux and water use efficiency in a warm-temperate mixed plantation. *Journal of Hydrology*. 571: 669-678.
- 34- Trumbore, S., Brando, P., and Hartmann, H. 2015. Forest health and global change. *Science*. 349: 814-818.
- 35- Walker, G.K. 1980. Relation between crop temperature and the growth and yield of kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.), Ph.D. Thesis, Univermty of California, Davis, CA.
- 36- Wilson, T.G., Kustas, W.P., Alfieri, J.G., Anderson, M.C., Gao, F., Prueger, J.H., McKee, L.G., Alsina, M.M., Sanchez, L.A., and Alstad, K.P. 2020. Relationships between soil water content, evapotranspiration, and irrigation measurements in a California drip-irrigated Pinot noir vineyard. *Agricultural Water Management*. 237: 106186.
- 22- Kirnak, H., Irik, H.A., and Unlukara, A. 2019. Potential use of crop water stress index (CWSI) in irrigation scheduling of drip-irrigated seed pumpkin plants with different irrigation levels. *Scientia Horticulturae*. 256: 108608.
- 23- Keneshlo, H. 1998. A detailed view to natural resources feature south of the coasts of Iran. Institute of forests and pastures of the country, Tehran, Iran, 165 pages. (In Persian)
- 24- Liu, N., Deng, Z., Wang, H., Luo, Z., Gutierrez-Jurado, H.A., He, X., and Guan, H. 2020. Thermal remote sensing of plant water stress in natural ecosystems. *Forest Ecology Management*. 476: 118433.
- 25- Marie, T.A.S. 2015. Calculation of crop water requirements uses CROPWAT. FAO. CROPWAT.8. Training course on Agronomic and engineering aspects of adaptation to climate change in Mediterranean agriculture.
- 26- Pandey, R.C., Pathak, R.A., and Pathak, R.K. 1990. Physico-chemical changes associated with growth and development of fruits in ber (*Ziziphus mauritiana* Lamk.). *Indian Journal of Horticulture*, 47(3): 270-286.
- 27- Patra, A.K., Sharma, K., Narayan, D., and Pattanik, A.K. 2003. Response of gravid dosto partial replacement of dietary protein by a leaf meal mixture of *Leucaena leucocephala*, *Morus alba* and *Azadirachta indica*. *Animal Feed Science and Technology*. 100: 171-182.
- 28- Romero-Trigueros, C., Bayona-Gambín, J.M., Tortosa, P.A.N, Cabanero, J.J.A., and Nicolas, E.N. 2019. Determination of crop water stress index by infrared thermometry in grapefruit trees irrigated with saline reclaimed water combined with deficit irrigation. *Remote Sensing*. 11: 757-780.
- 29- Shackel, K., Moriana, A., Marino, G., Corell, M., Pérez-López, D., Martin-Palomo, M.J., Caruso, T., Marra, F.P., Agüero-Alcaras, L.M., Milliron, M., Rosecrance, R., Fulton, A., and Searles, P. 2021. Establishing a reference baseline for midday stem water potential in olive and its use for plant-based irrigation management. *Frontiers in Plant Science*. 12: 791711.



## Abstract

## Planning the Water Requirement Supply of Pasture Shrubs Under Different Irrigation Systems Using Plant Water Stress Index

Gh. Bostanian<sup>1</sup>, M. Albaji<sup>2</sup>, A.A. Naseri<sup>3</sup>, S. Borooman-Nasab<sup>4</sup> and N. Alemzade-Ansari<sup>5</sup>

Received: 2023/11/10 Accepted: 2023/12/16

The crop water stress index based on canopy–air temperature differences (CWSIdT) is an appropriate index for monitoring the water status of croplands but is rarely used to evaluate the water status of forest ecosystems. However, CWSIdT is rarely used in forest ecosystems. Investigating the possibility of using the crop water stress index (CWSI) for planning the irrigation of four species of pasture trees, *Prosopis cineraria* (T1), *Conocarpus* (T2), *Albezia lebbek* (T3) and *Ziziphus* (T4), under four methods of surface irrigation, bubbler, pitcher, and waterboxx system, was selected. This research was conducted in the year 2021 in the experimental farm of the Faculty of Water and Environmental Engineering of Shahid Chamran University of Ahvaz and lasted for 9 months. The experiment was conducted as a factorial in the form of a randomized complete block design with 3 replications. The crown temperature, actual evaporation and transpiration and meteorological factors of the field were continuously and simultaneously measured during the period from the beginning of April to the end of December. Infrared thermometers was used to measure crown temperature and vapor pressure deficiency values for different irrigation treatments. The results showed that under well-watered conditions, canopy-air temperature difference and canopy surface transpiration rate are both controlled by the net radiation received by the canopy surface. The highest and lowest calculated CWSI values were related to waterboxx and Pitcher irrigation with values of 1.01 and 0.81, respectively, which were related to *Ziziphus* and *Konocarpus* trees. Statistical analysis showed that the effect of irrigation method on plant water stress index values in spring and autumn seasons was significant at the level of 5% and the average values of plant water stress index increased with water consumption reductions of 87 and 59% in waterbox and pitcher irrigation systems, respectively. However, there was no significant difference observed in the summer season. Also, the effect of tree type on the CWSIdT index during the period was important at a 1% level. In addition, the difference in vegetation and air temperature were used as a determining factor to determine irrigation time, which can be used to estimate pasture tree water stress.

**Keywords:** CWSI, Infrared thermometer, Pitcher Irrigation & WaterBoxx.

1. (Corresponding Author), Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. E-mail: Rezabostanian@Gmail.com
2. Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
3. Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
4. Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
5. Associate Professor, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran