

تأثیر تنش آبی بر عملکرد و دمای برگ گیاه مرزه و تعیین شاخص CWSI

مهری سعیدی نیا^{۱*}، سید حمزه حسینیان، فرهاد بیرانوند و علی حیدر نصراللهی

استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

saedinia.m@lu.ac.ir

دانشجوی دکتری اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

hosseinian.ha@fa.lu.ac.ir

دانشجوی دکتری، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

farhadbeiranvand@yahoo.com

استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

nasrolahi.a@lu.ac.ir

چکیده

با توجه به ارزش فراوان آب، برنامه‌ریزی آبیاری و کشت گیاهان دارویی، این تحقیق در دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، با هدف برنامه‌ریزی آبیاری گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis*)، با استفاده از شاخص (CWSI) تحت تنش‌های مختلف آبی و بدون تنش (در شرایط گلدانی) انجام گرفت. در این تحقیق، گیاه دارویی مرزه در یک سری گلدان، تحت چهار تیمار آبیاری (IR100، IR80، IR60 و IR40) به ترتیب معادل با ۱۰۰٪، ۸۰٪، ۶۰٪ و ۴۰ درصد آب سهل الوصول (RAW=0.5) در سه تکرار، کشت شد. آبیاری تیمار شاهد (IR100) به طور مرتب به هنگام تخلیه خاک صورت گرفت و سه تیمار دیگر نیز همزمان منتها به مقادیر ذکر شده آبیاری شدند. برای اندازه‌گیری شاخص CWSI، دمای پوشش سبز، دمای هوا (خشک و تر) در روزهای بعد (ساعت ۸ تا ۱۴) و قبل (ساعت ۱۲ تا ۱۵) از هر آبیاری در طول دوره رشد اندازه‌گیری گردید. مطابق نتایج، معادله خط مبنای بالا (بدون تعرق) به صورت $UL = 0.69(Tc - Ta)$ و خط مبنای پایین (با تعرق بالقوه) به صورت $LL = 0.2787 - 0.1134(VPD)$ حاصل گردید. نتایج نشان داد اثر تنش آبی بر روی عملکرد معنی دار گردید، به گونه‌ای که بیشترین عملکرد در تیمار IR100 (۱/۷۵۶ گرم در هر بوته) و کمترین عملکرد در تیمار IR40 (۱/۴۲۱ گرم در هر بوته) مشاهده گردید. میانگین CWSI در روز قبل از آبیاری، در چهار تیمار ذکر شده بالا، به ترتیب برابر ۰/۱۹، ۰/۲۸، ۰/۴۶ و ۰/۲۸ به دست آمد. براساس این اطلاعات حد مجاز شاخص CWSI برای برنامه‌ریزی آبیاری گونه مرزه در گلدان، برابر ۰/۱۹ حاصل گردید. نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تفاوت CWSI و دمای پوشش سبز بین تیمار شاهد (IR100) و (IR80) معنی‌دار نشد ولی تفاوت CWSI و دمای پوشش سبز بین تیمارهای IR60 و IR40 با تیمار شاهد معنی‌دار گردید. افزایش شاخص تنش سه تیمار IR80، IR60 و IR40 نسبت به تیمار شاهد برابر ۱۰٪، ۴۷٪ و ۱۴۲ درصد به دست آمد. در این تحقیق همبستگی قوی ($r = -0.978^*$) بین شاخص تنش آبی و هدایت روزنه‌ای به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، شاخص تنش آبی، گیاه دارویی، هدایت روزنه‌ای

۱- آدرس نویسنده مسئول: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

*- دریافت: شهریور ۱۳۹۷ و پذیرش: مرداد ۱۳۹۸

مقدمه

با توجه به وضعیت منابع آب ایران، استفاده بهینه آب در بخش‌های مختلف مصرف، بخصوص در بخش کشاورزی امری ضروری می‌باشد. برای این منظور کم‌آبیری و بررسی وضعیت عکس‌العمل گیاه تحت این شرایط، یکی از سناریوهای مختلف مدیریت آب در کشاورزی است. پاسخ گیاه به آبیاری، تابعی از وضعیت آب در گیاه می‌باشد و تحت تأثیر عوامل مختلفی مانند پتانسیل آب و خاک، وضعیت ریشه گیاه و نحوه مقاومت آن در برابر تنش آبی و شرایط جوی قرار می‌گیرد. به منظور برنامه‌ریزی آبیاری، از روش‌های مختلفی همچون اندازه‌گیری رطوبت خاک، پتانسیل آب در گیاه استفاده می‌شود. دمای پوشش سبز گیاهی نیز، یکی از پارامترهایی است که بیانگر وضعیت آب در گیاه بوده و مبنای محاسبه شاخص تنش آبی گیاه^۲ (CWSI) می‌باشد. CWSI شاخصی است که بر مبنای اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و دمای هوا، کمبود فشار بخار^۳ (VPD)، میزان تنش آبی را محاسبه می‌کند. میزان شاخص بین صفر (شرایط بدون تنش) تا یک (تنش کامل) تغییر پیدا می‌کند. با توجه به اینکه انرژی لازم برای فرایند تعرق، از طریق تابش نور خورشید تامین می‌گردد، طی این عمل، آب، از محیط خاک توسط گیاه جذب می‌شود و پس از جریان در آوندهای گیاهی، در نهایت به صورت بخار از روزنه‌ها خارج می‌گردد و این عمل باعث کاهش دمای برگ می‌شود. حال در صورتی که رطوبت خاک کاهش یابد و در نتیجه گیاه آب کافی برای عمل تعرق نداشته باشد، روزنه‌های گیاه بسته شده و در نتیجه دمای برگ و در نهایت دمای پوشش سبز افزایش پیدا می‌کند (سیفی و همکاران، ۱۳۹۳). این شاخص هم از نظر تئوری و هم از دیدگاه مشاهدات مزرعه‌ای از قابلیت بالایی برخوردار بوده و محققین زیادی از این شاخص برای اهداف مختلف استفاده کرده‌اند (احمدی و همکاران ۱۳۹۶)، سیفی و همکاران (۱۳۹۳)، جکسون و همکاران (۱۹۸۱)، سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۵)، جهت بررسی

توانایی شاخص تنش آبی گیاه در انجام برنامه‌ریزی آبیاری ذرت، در دانشگاه شهید چمران اهواز، تحقیقی را انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد می‌توان از شاخص CWSI جهت انجام برنامه‌ریزی آبیاری گیاه ذرت استفاده کرد و مقدار $CWSI=0.23$ را مبنای برنامه‌ریزی آبیاری قرار دادند. خرسندی و همکاران (۲۰۱۸) خط مبنای پایین را برای کنگد، تحت شرایط گلخانه‌ای برابر $(Tc-Ta)_{LL}=3$ - $2.7VPD$ به دست آوردند. کولاک و همکاران (۲۰۱۵)، تحقیقی به منظور بررسی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در بادمجان تحت سیستم‌های قطره‌ای زیرسطحی و سطحی را انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای دستیابی به حداکثر عملکرد و بالاترین کیفیت محصول مقدار CWSI باید بین $0.2 - 0.18$ باشد، که از آن می‌توان برای انجام برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کرد. متین سزن و همکاران (۲۰۱۴)، طی یک تحقیق در ترکیه، خط مبنای بالا و پایین را برای فلفل قرمز به ترتیب $2/86$ درجه سانتی‌گراد و $(Tc-Ta)_{LL}=1.1 - 0.49VPD$ تعیین کردند. آن‌ها CWSI بدون تنش را برای دو روش آبیاری قطره‌ای و سطحی به ترتیب 0.26 و 0.38 محاسبه کردند. محمدی و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر سطوح مختلف آبیاری قطره‌ای بر شاخص تنش آبی گیاه ذرت را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد میزان شاخص در تیمارهای ۱۰۰، ۸۰ و ۶۰ درصد نیاز آبی، به ترتیب برابر 0.25 ، 0.37 و 0.47 می‌باشد. شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) جهت استفاده در برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان زراعی و باغی و ارزیابی عواملی نظیر تنش آبی، میزان تعرق، مقاومت روزنه‌ای برگ‌ها در شرایط مزرعه‌ای، توسط بسیاری از محققان از جمله جکسون و همکاران (۱۹۸۱)، ربی‌رو و همکاران (۲۰۰۵)، و کار و کومار (۲۰۰۷)، گونتیا و تیواری (۲۰۰۸)، لی و همکاران (۲۰۱۰)، لیورگنوس و همکاران (۲۰۱۰)، وانگ و گارتونگ (۲۰۱۰)، اوشاوقنسی و همکاران (۲۰۱۲)، سپاسخواه و کاشفی‌پور (۱۹۹۴)، برومندنسب و همکاران (۱۳۸۳)، سعیدی‌نیا و همکاران (۱۳۹۵)، سیفی و

3 Vapor Pressure Deficit

2 Crop Water Stress Index

تحقیق حاضر عبارتند از: تعیین خط مبنای پایین و بالا برای گونه گیاهی مرزه، محاسبه شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)، بررسی تاثیر سطوح مختلف آبیاری (تنش آبی) روی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI).

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی 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. متوسط ماهانه برخی از پارامترهای هواشناسی منطقه در طول دوره رشد گیاه مرزه در جدول (۱) آورده شده است.

همکاران (۱۳۹۳)، احمدی و همکاران (۱۳۹۶) مورد استفاده قرار گرفته است، اما برای گیاهان دارویی تحقیقات قابل توجهی صورت نگرفته است. مرزه (*Satureja hortensis* L.) گونه‌ای علفی و یک‌ساله، متعلق به خانواده نعناع (Lamiaceae) و یکی از گیاهان دارویی مهم در ایران می‌باشد. این گونه گیاهی به دلیل میزان اسانس بالا و استفاده در صنایع غذایی و داروسازی دارای اهمیت اقتصادی و پزشکی زیادی می‌باشد (اسکوسیبزیک و همکاران، ۲۰۰۶؛ ساتیل و کایا، ۲۰۰۷). مرزه دارای خاصیت ضد نفخ، خلط‌آور، ضد عفونی‌کننده قوی، اشتهاآور، درمان‌کننده اختلالات گوارشی می‌باشد (محمدپور و همکاران، ۱۳۹۶). با توجه به وضعیت منابع آب و اهمیت گیاهان دارویی و امکان کشت این گونه گیاهی در منطقه لرستان، اهداف

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

پارامتر اقلیمی	تبر	مرداد	شهریور	مهر
بیشینه درجه حرارت (سانتی‌گراد)	۳۹/۹۸	۴۰/۲۴	۳۶/۹۸	۳۴
کمینه درجه حرارت (سانتی‌گراد)	۱۸/۹۶	۲۰/۲۱	۱۵/۶۷	۳/۷
میانگین رطوبت نسبی (درصد)	۲۰/۸۸	۱۹/۳۰	۲۲/۶۰	۲۰
میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)	۵/۵۸	۵/۳۵	۵/۷۴	۱۲
بارندگی (میلی‌متر)	۰	۰	۰	۰
میانگین تبخیر و تعرق مرجع (میلی متر بر روز)	۹/۳	۱۰/۲۳	۱۰/۱۵	۷/۹

گلدانی، یک لایه شن درشت‌دانه (سه سانتی متر) در کف هر گلدان قرار داده شد و حجم باقی مانده گلدان با خاک مزرعه، به همراه کود حیوانی (نسبت اختلاط ۱ (کود): ۴ (خاک)) پر شد. ویژگی‌های خاک مورد استفاده در جدول (۲) ارائه شده است. برای پایش میزان آب خروجی (پس از آبیاری) از انتهای هر گلدان، هریک از گلدان‌ها بر روی یک سینی قرار داده شد و نحوه قرار گرفتن آن‌ها در مزرعه، بر اساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی بود. برای از بین بردن اثر حاشیه‌ای، اطراف گلدان‌ها به فاصله سه متر، به کشت مرزه اختصاص داده شد.

این آزمایش در شرایط گلدانی، در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی انجام شد. هر کدام از گلدان‌ها با دهانه‌ای به قطر ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر و از جنس پلاستیک بود. آزمایش شامل چهار تیمار آزمایشی، تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی (IR₁₀₀)، ۸۰ درصد نیاز آبی (IR₈₀)، ۶۰ درصد تامین نیاز آبی (IR₆₀) و ۴۰ درصد تامین نیاز آبی (IR₄₀) و سه تکرار بود. در هر گلدان، کاشت بذر با تراکم ۱۵۰ بوته در هر متر مربع، انجام گرفت. در هر گلدان، به منظور خروج آب اضافی و اندازه‌گیری آن، سوراخ‌هایی در کف ایجاد گردید. مطابق اصول کشت‌های

جدول ۲- ویژگی‌های خاک مورد استفاده در کشت مرزه

نوع خاک	ترکیبات (درصد)			رطوبت معادل	رطوبت معادل ۱۰۰۰
	رس	شن	سیلت	۳۰ کیلو پاسکال	کیلو پاسکال
SCL	۳۱	۴۶	۲۳	۳۲	۱۶

به دست آمد؛ به عبارت دیگر، هرگاه رطوبت وزنی خاک به ۲۴ درصد وزنی رسید آبیاری تیمار صورت گرفت. مقدار نیاز آبی نیز به صورت وزنی به دست آمد. نیاز آبی در واقع، وزن آب لازم برای رساندن رطوبت موجود خاک گلدان به رطوبت FC است. با توجه به سطح گلدان-ها، میزان ارتفاع آب مورد نیاز حاصل گردید. قابل ذکر است که وزن گلدان‌ها در حالت FC به این صورت به دست آمد که خاک گلدان به حالت اشباع رسید و توسط یک لایه فویل آلومینیومی روی سطح خاک گلدان پوشانیده شد (برای جلوگیری از تبخیر) و سپس در چندین روز متوالی هر ۱۲ ساعت یکبار وزن گلدان اندازه‌گیری گردید و این عمل تا زمانی که طی چند مرحله متوالی، یک وزن ثابت مشاهده گردید، ادامه داشت. وزن ثابت به عنوان وزن گلدان در حالت FC در نظر گرفته شد. با توجه به اینکه شرایط خاک گلدان‌ها یکسان در نظر گرفته شد، این وزن به عنوان وزن گلدان در حالت FC برای همه گلدان‌ها در نظر گرفته شد.

آبیاری تیمارهای تنش

اعمال تیمارهای تنش، ۵۰ روز پس از کاشت بذرها صورت گرفت و تا زمان برداشت (۹۵ روز پس از کاشت) نیز ادامه داشت. برداشت در مرحله گل دهی گیاه صورت گرفت. قابل ذکر است که آبیاری در تیمارهای تنش همزمان با آبیاری تیمار شاهد صورت گرفت. ولی ارتفاع یا عمق آب آبیاری (IR) برای هر یک از تیمارهای تنش برحسب کسری از تیمار شاهد بود که با استفاده از روابط زیر تعیین گردید.

$$\begin{aligned} IR_{80} &= 80\% IR_{100}; & IR_{60} &= 60\% IR_{100}; \\ IR_{40} &= 40\% IR_{100} \end{aligned} \quad (3)$$

قابل ذکر است که تا قبل از اعمال تیمارها، نیاز آبی گیاه مرزه، در تیمارهای تنش مشابه تیمار شاهد بود.

کشت در هر واحد آزمایشی در تاریخ ۱۴ تیرماه انجام شد. قبل از کشت، پس از آماده سازی خاک (مخلوط با کود حیوانی)، رطوبت معادل ۳۰ کیلوپاسکال به با دستگاه صفحات فشار^۴ مشخص گردید. به طریقه نمونه برداری از گلدان پس از خارج شدن آب ثقلی از گلدان، رطوبت وزنی برابر ۳۲/۹ و با استفاده از دستگاه صفحات فشاری، این مقدار برابر ۳۱/۱ به دست آمد. در این تحقیق از میانگین دو روش استفاده شد. وزن هر واحد آزمایشی (گلدان) در رطوبت ظرفیت مزرعه ای ۱۰/۴۴۰ کیلوگرم به دست آمد. رطوبت نقطه پژمردگی نیز با دستگاه صفحات فشاری در فشار ۱۵ بار اندازه گیری شد.

آبیاری

آبیاری تیمار شاهد

در طول دوره رشد، اندازه‌گیری رطوبت خاک و آب مورد نیاز به صورت وزنی انجام شد و آبیاری به گونه‌ای اعمال گردید که رطوبت در تیمار شاهد (۱۰۰ درصد تامین نیاز آبی)، در محدوده رطوبت سهل الوصول باقی بماند، بر این اساس هر روز گلدان‌های تیمار شاهد، وزن گردید و زمانی که رطوبت خاک به حد پایین رطوبت سهل الوصول (θ_m) رسید، به عنوان زمان آبیاری در نظر گرفته شد. میزان رطوبت سهل الوصول و حد پایین رطوبت سهل الوصول از فرمول‌های (۱ و ۲) محاسبه شد (و ۱۴).

$$RAW = MAD(\theta_{FC} - \theta_{PWP}) \quad (1)$$

$$\theta_m = |\theta_{fc} - MAD(\theta_{fc} - \theta_{PWP})| \quad (2)$$

در روابط فوق:

MAD حداکثر میزان تخلیه می‌باشد که در این تحقیق ۰/۵ فرض شده است (زیرا FAO در این زمینه، برای گیاهان دارویی از جمله مرزه پیشنهادی ارائه نداده است. بیشتر تحقیقات FAO در این زمینه، برای گیاهان باغی و زراعی بوده است). θ_{FC} درصد رطوبت وزنی در ظرفیت مزرعه ای و θ_{PWP} درصد رطوبت وزنی در نقطه پژمردگی می‌باشد. با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده، θ_m برابر ۲۴ درصد وزنی

⁴Pressure plate

محاسبه شاخص تنش آبی (CWSI)

ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) شاخص تنش آبی را به صورت زیر ارائه داده اند:

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

که در آن:

$(T_c - T_a)_{LL}$: بر حسب درجه سانتی گراد، بیانگر خط مبنای پایین شاخص می باشد و برابر با اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه (T_c) با هوای مجاور (T_a) در شرایط بدون تنش است. این خط مشخص کننده مکان هندسی نقاطی است که در آن میزان تبخیر و تعرق حداکثر می باشد. $(T_c - T_a)_{UL}$: خط مبنای بالایی و یا خط تنش کامل می باشد و معرف حداکثر مقداری است که می توان برای اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوای مجاور انتظار داشت، $(T_c - T_a)_m$ اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا برای هر روزی است که قصد داریم میزان شاخص تنش برای آن روز محاسبه شود. ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) خط مبنای پایینی تنش و روابط مربوطه را به صورت زیر معرفی کرد:

$$(T_c - T_a)_{LL} = a + b \cdot (VPD) \quad (۵)$$

در این رابطه $(Vapor\ pressure\ deficit)$ VPD کمبود فشار بخار هوا بر حسب میلی بار است و با توجه به روابط زیر محاسبه می گردد (هاول و دوسک، ۱۹۹۵).

$$VPD = e_s(T_a) - e_a \quad (۶)$$

$$e_s(T_a) = \left(6.05 * EXP \left(\frac{17.27 * T_a}{T_a + 237.3} \right) \right) \quad (۷)$$

$$e_a = e_s(T_a) * \left(\frac{RH}{100} \right) \quad (۸)$$

در روابط فوق:

$e_s(T_a)$: فشار بخار اشباع در دمای هوا (T_a) بر حسب میلی بار، e_a : فشار بخار واقعی هوا بر حسب میلی بار و RH: درصد رطوبت نسبی می باشد. معادله خط مبنای بالا نیز بر اساس روش ایدسو و همکاران (۱۹۸۱) با توجه به روابط زیر محاسبه می شود:

$$(T_c - T_a)_{UL} = a + b \cdot |VPG| \quad (۹)$$

$$VPG = e_s(a + T_a) - e_s(T_a) \quad (۱۰)$$

اندازه گیری دمای پوشش سبز، دمای هوا (خشک و تر)

در این تحقیق، برای هشت آبیاری از کل آبیاری ها در طول فصل رشد، در روز بعد و قبل از آبیاری، دمای پوشش سبز و دمای هوا اندازه گیری گردید. به این صورت که در تیمار شاهد در روز بعد از هر آبیاری، از ساعت ۸ تا ۱۴، هر یک ساعت یکبار، دمای پوشش سبز، توسط دستگاه دماسنج مادون قرمز، مدل Thermo-hygrometer and laser pyrometer با D:S=8:1، از دو جهت اندازه گیری و دماسنج های تر و خشک نیز از طریق دستگاه سایکرومتر که در نزدیکی گلدان ها در مزرعه نصب گردیده بود، قرائت شد (ایدسو و همکاران، ۱۹۸۱، لپورگئوس و همکاران، ۲۰۱۰، برومند نسب و همکاران، ۱۳۸۳؛ سعیدی نیا و همکاران، ۱۳۹۵). این داده ها برای به دست آوردن خط مبنای پایین مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور محاسبه میزان شاخص در روز قبل از آبیاری، در طول هر یک از این هشت آبیاری، در روز قبل از آبیاری، در تیمارهای تنش، از ساعت ۱۲ تا ۱۵، هر یک ساعت یکبار دمای پوشش سبز و دمای هوا اندازه گیری گردید. قابل ذکر است که علت اینکه هشت آبیاری انتخاب گردید این بود که در این تاریخ های آبیاری، روزهای قبل و بعد از این آبیاری ها هوا صاف و بدون ابر بوده و در نتیجه دمای پوشش سبز گیاه توسط دستگاه اندازه گیری مادون قرمز قابل اندازه گیری بود. علت انتخاب میانگین ساعات ۱۲ الی ۱۵ در روز های قبل از آبیاری این است که در واقع ساعاتی انتخاب گردیده است که با بیشترین دمای هوا مواجه هستیم (لپورگئوس و همکاران، ۲۰۱۰، برومند نسب و همکاران، ۱۳۸۳؛ سعیدی نیا و همکاران، ۱۳۹۵). قابل ذکر است که ایدسو (۱۹۸۱) استاندارد ساعات اندازه گیری در روز بعد از آبیاری را از ۲ الی ۳ ساعت، بعد از طلوع تا ۲ الی ۳ ساعت قبل از غروب بیان کرده اند که تقریباً با ساعات اندازه گیری (۸ تا ۱۴) که در این تحقیق انتخاب گردیده است هماهنگی دارد.

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای براساس مول دی‌اکسید کربن بر مترمربع بر ثانیه، توسط دستگاه پرتابل سنجش فتوسنتز مدل LCA4 اندازه‌گیری شد (۳۲). برای اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای، قسمت میانی بالاترین برگ بوته از هر تیمار در اتاقک شیشه‌ای انبرک دستگاه قرار داده شد و پس از ثبات شرایط درون اتاقک، داده‌های مربوط ثبت شد.

نتایج و بحث

میزان نیاز آبی گیاه در جدول ۳ و میزان عملکرد (وزن خشک برگ و گل و ساقه) در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در تیمارهای IR₆₀، IR₈₀ و IR₄₀ میزان نیاز آبی ۱۴، ۲۵ و ۳۷ درصد کاهش یافته است. تجزیه واریانس داده‌های مربوط به میزان عملکرد نشان داد که اثر تنش آبی بر روی میزان عملکرد گیاه مرزه در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴). با افزایش شدت تنش آبی، میزان عملکرد کاهش یافت؛ به طوری که بیشترین مقادیر در تیمار آبیاری کامل (تامین ۱۰۰ درصد نیاز آبی) و کمترین مقادیر نیز در شرایط تنش آبی شدید (تامین ۴۰ درصد نیاز آبی) به دست آمد (جدول ۵).

در این روابط (Vapor pressure gradient) VPG: شیب فشار بخار هوا بر حسب میلی‌بار و a و b: ضرائب رابطه خطی معادله (۶) می‌باشند و یا به عبارت دیگر در این شرایط، عمل تعرق، بدون وابستگی به مقدار VPD قطع می‌گردد. همان طور که قبلاً توضیح داده شده است، به منظور محاسبه خط مبنای پایین، در تیمار شاهد، درجه حرارت پوشش سبز، دمای هوا (خشک و تر) در روز بعد از آبیاری (برای هشت آبیاری این عمل تکرار شد)، هر ساعت یکبار از ساعت ۸ الی ۱۴ قرائت شد. با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در این ۸ رویداد آبیاری و معادلات، ۵ تا ۸، معادله رگرسیونی خط مبنای پایین به دست آمد. معادله خط مبنای بالا نیز از طریق معادله ۹ حاصل گردید. برای اندازه‌گیری شاخص CWSI در روزهای قبل از آبیاری نیز، از میانگین دمای پوشش سبز گیاه، از ساعت ۱۲ الی ۱۵ (هشت آبیاری) استفاده گردید و با مشخص شدن میانگین اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا در روز قبل از آبیاری (در اوج شدت گرما) و با استفاده از معادله ۴ شاخص CWSI در این روز محاسبه گردید.

اندازه‌گیری هدایت روزنه‌ای

جدول ۳- نیاز آبی گیاه مرزه (میلی‌متر) در گام‌های زمانی ۱۰ روزه در تیمارهای مختلف آزمایش

روز پس از کاشت- تیمار*	IR ₁₀₀	IR ₈₀	IR ₆₀	IR ₄₀
۱۰	۴۱/۴	۴۱/۴	۴۱/۴	۴۱/۴
۲۰	۴۷/۲۶	۴۵/۸۶	۴۵/۸۶	۴۵/۸۶
۳۰	۴۷/۸	۴۷/۸	۴۷/۸	۴۷/۸
۴۰	۶۹/۹	۵۳/۶۲	۵۳/۶۲	۵۳/۶۲
۵۰	۹۲	۹۲	۹۲	۹۲
۶۰	۱۰۵/۱	۸۸/۸۸	۷۲/۶۶	۵۶/۴۴
۷۰	۱۱۳/۵۲	۹۰/۸۱۶	۶۸/۱۱۲	۴۵/۴۰۸
۸۰	۱۰۹/۱۲	۸۷/۲۹۶	۶۵/۴۷۲	۴۳/۶۴۸
۹۰	۹۳/۶۴	۷۴/۹۱۲	۵۶/۱۸۴	۳۷/۴۵۶
۹۵	۳۸/۹۴	۳۱/۱۵۲	۲۳/۳۶۴	۱۵/۵۷۶
مجموع	۷۵۸/۶۸	۶۵۳/۷۳۶	۵۶۶/۴۷۲	۴۷۹/۲۰۸
درصد کاهش	۰	۱۴	۲۵	۳۷

* تیمارهای آبیاری پس از ۵۰ روز از کاشت اعمال شدند

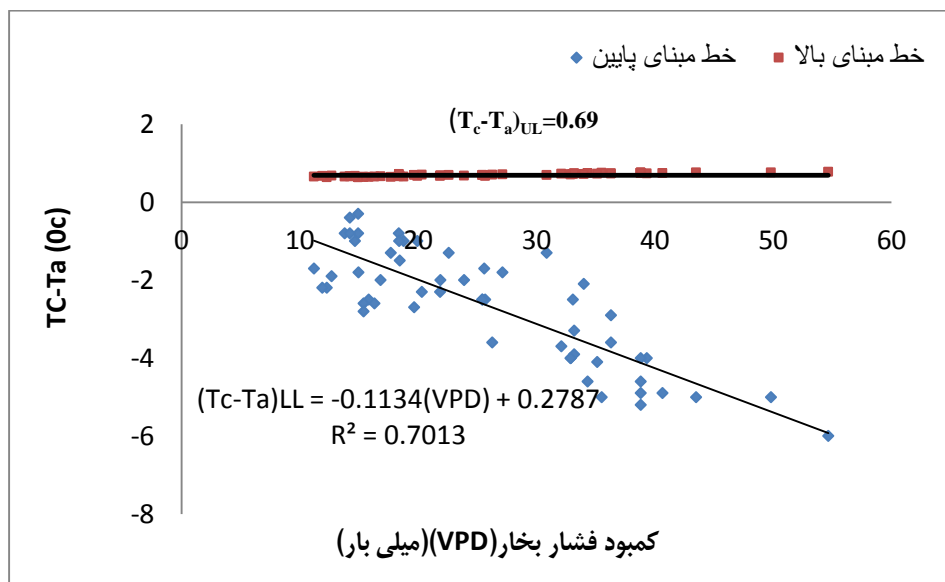
جدول ۴- تجزیه واریانس میزان عملکرد محصول مرزه، تحت تیمارهای مختلف تنش آبی

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن خشک ساقه تک بوته	وزن خشک برگ و گل تک بوته
بلوک	۲	۰/۰۰	۰/۰۰
تیمار	۳	۰/۰۲**	۰/۰۱۵**
خطای آزمایشی	۶	۰/۰۰	۰/۰۰
ضریب تغییرات (%)	-	۰/۲۴	۰/۱۴

جدول ۵- مقایسه میانگین مقادیر عملکرد گیاه مرزه تحت شرایط تنش آبی

سطح تنش آبی	وزن خشک ساقه تک بوته (g)	وزن خشک برگ و گل تک بوته (g)	عملکرد کل در هر بوته (مجموع وزن خشک برگ و گل و ساقه (g))
IR ₁₀₀	۰/۸۹۰a	۰/۸۶۶a	۱/۷۵۶
IR ₈₀	۰/۸۲۳b	۰/۸۲۰b	۱/۶۴۳
IR ₆₀	۰/۷۶۲c	۰/۷۶۵c	۱/۵۲۷
IR ₄₀	۰/۷۱۷d	۰/۷۰۴d	۱/۴۲۱

میانگین‌های با حروف غیر یکسان در هر ستون بر اساس آزمون دانکن دارای اختلاف آماری معنی‌دار در سطح احتمال ۰/۰۵ هستند



شکل ۱- خط مبنای پایینی و بالایی برای گونه مرزه (تیمار شاهد) در مزرعه مطالعه شده

به ترتیب ۰/۲۷۹ و ۰/۱۱۳۴ به دست آمد. همان طور که شکل (۱) نشان می‌دهد، با استفاده از معادلات خط مبنای بالا $(T_c - T_a)_{UL} = 0.69$ و خط مبنای پایین $(T_c - T_a)_{LL} = -0.1134(VPD) + 0.2787$ و اندازه‌گیری میزان اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا و همچنین کمبود فشار بخار اشباع در هر روز، می‌توان میزان شاخص CWSI را برای روز مذکور

در این تحقیق، برای تیمار شاهد (IR₁₀₀)، بر اساس کل داده‌های مشاهداتی مربوط به هشت رویداد آبیاری (یک روز بعد از آبیاری (ساعت ۸ تا ۱۴))، معادله خط مبنای پایین و بالا محاسبه و نمودار آن ترسیم گردید (شکل ۱). ضرایب a و b مربوط به معادله خط مبنای پایین

نشان داد حد مجاز CWSI برای آبیاری سویا برابر ۰/۲۲ می باشد (کندوگان و همکاران، ۲۰۱۳).

میانگین اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا در روز قبل از آبیاری و فرمول (۴)، در هریک از تیمارهای تنش، شاخص CWSI برای روز قبل از آبیاری محاسبه گردید. برای بررسی دقیق اثر تنش آبی، بر شاخص CWSI تجزیه واریانس (جدول (۶)) و مقایسه میانگین با استفاده از آزمون دانکن (جدول (۷)) انجام گرفت. نتایج تجزیه واریانس نشان داد اثر تنش آبی، بر اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا و شاخص CWSI در سطح احتمال یک درصد معنی دار است.

محاسبه کرد. در این تحقیق بر اساس میانگین داده های اندازه گیری دما در روزهای قبل از آبیاری، برای تیمار شاهد (هنگامی که رطوبت خاک به ۵۰ درصد قابل استفاده رسید)، CWSI برابر ۰/۲۹ به دست آمد. به عبارت دیگر، اگر هدف آبیاری کامل باشد، برای گیاه مرزه در شرایط استفاده از گلدان در مزرعه، وقتی میزان شاخص تنش آبی به ۰/۲۹ رسید، باید آبیاری انجام شود. برای گیاه مرزه تاکنون در این زمینه تحقیق انجام نشده است ولی برای تعدادی ز گیاهان زراعی و در شرایط مزرعه ای، معادله خط مبنای پایین و بالا و CWSI به دست آمده است. سعیدی و همکاران (۱۳۹۵) برای ذرت در منطقه اهواز، مقدار شاخص تنش آبی را در شرایط بدون تنش، معادل ۰/۲۱، احمدی و همکاران (۱۳۹۶) در منطقه خرم آباد برای گیاه سویا ۰/۱۸ به دست آوردند. نتایج تحقیق در منطقه بوسا در ترکیه

جدول ۶- تجزیه واریانس برای دمای پوشش سبز و شاخص تنش آبی CWSI

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	CWSI	دمای پوشش سبز
بلوک	۲		۰/۰۰۴۴	۰/۰۵۲۵
تیمار	۳		۰/۰۴۳۳**	۰/۴۸۷۵**
خطای آزمایشی	۶		۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۵۸
ضریب تغییرات (%)			۷/۲۲	-۴/۵۶

ns و ** به ترتیب عدم معنی دار و معنی دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۷- مقایسه میانگین اختلاف دما و شاخص تنش آبی (در روز قبل از آبیاری) بین چهار تیمار آبیاری

تیمار	اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا (T _c -T _a)	CWSI
IR100	-۲/۰۰c	۰/۱۹c
IR80	-۱/۹۰c	۰/۲۱c
IR60	-۱/۷۰b	۰/۲۸b
IR40	-۱/۱a	۰/۴۶a

روزنه ها و کاهش تعرق و در نهایت افزایش دمای پوشش سبز می گردد (سیفی و همکاران، ۱۳۹۳؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج تحقیقات محققان مختلف در نقاط مختلف دنیا، نشان می دهد که در شرایط مزرعه ای، نتایج متفاوت می باشد. پینتر و همکاران (۱۹۹۰) نشان داد در شرایط مزرعه ای و تنش آبی، دمای پوشش سبز، بالاتر از دمای هوا می باشد. سعیدی نیا و همکاران (۱۳۹۵) نیز نشان دادند که در شرایط تنش شوری، در مزرعه، دمای پوشش سبز بالاتر از دمای هوا می گردد. به نظر می رسد، وضعیت جذب آب از خاک در شرایط گلدانی، از علل تفاوت دمای

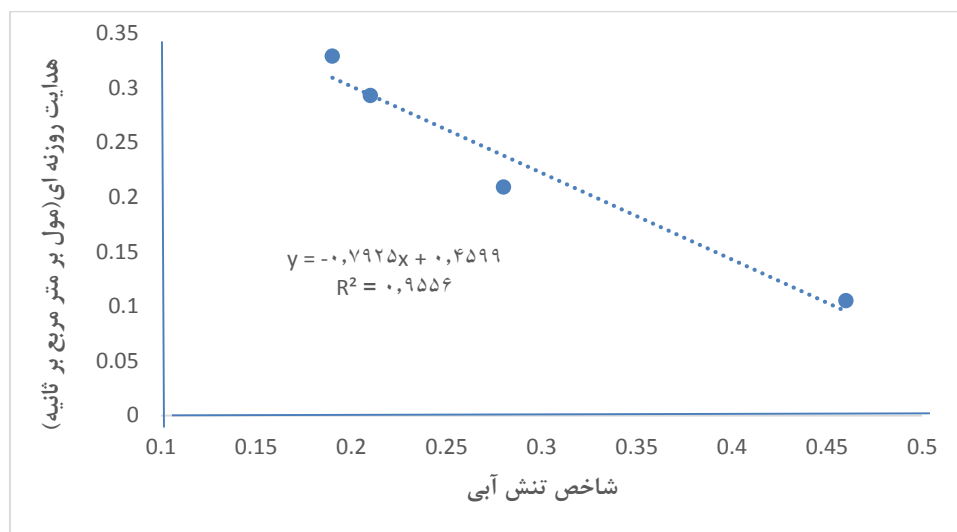
همان طور که جدول (۷) نشان می دهد، در همه تیمارها، در روز قبل از آبیاری، اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا منفی می باشد؛ به عبارت دیگر، با وجود اینکه گیاهان بیشترین نیاز به آب را داشتند ولی دمای پوشش سبز، در همه تیمارها، پایین تر از میانگین دمای هوا (۳۵/۷) درجه سانتی گراد) می باشد و این نشان دهنده این است که در شرایط تنش آبی، روزنه ها باز بوده و عمل تعرق صورت گرفته است و در نتیجه دمای برگ کمتر از دمای هوا شده است. در صورت عدم تناسب بین تعرق و جذب آب، مکش آب در آوندهای چوبی بالا رفته و در نتیجه باعث بسته شدن

حساس بوده، به گونه‌ای که با تغییر ۰/۱ درجه دمای پوشش سبز، میزان شاخص به اندازه ۱۰ درصد، تغییر پیدا کرده است.

در این تحقیق رابطه بین شاخص تنش آبی و میانگین هدایت روزنه ای^۵ در گیاه مرزه مورد بررسی قرار گرفت (شکل). نتایج نشان داد که بین شاخص تنش آبی و هدایت روزنه‌ای رابطه مستقیمی وجود دارد. به گونه ای که با افزایش تنش آبی، میزان هدایت روزنه ای کاهش پیدا می کند. رابطه بین شاخص تنش آبی و هدایت روزنه ای مطابق فرمول ۱۱ حاصل گردید.

$$\text{Stomatal Conductance} = -0.7925 (\text{CWSI}) + 0.4599 \quad (11)$$

پوشش سبز در شرایط تنش در گلدان ها باشد. بر اساس نتایج جدول (۷) میانگین اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا، در تیمار شاهد و IR₈₀ شاهد معنی دار نبوده و لی در تیمارهای IR₆₀ و IR₄₀ معنی دار بوده است. دمای پوشش سبز نسبت به شرایط بدون تنش (شاهد) در تیمار IR₄₀، به اندازه ۰/۹ درجه افزایش پیدا کرده است. همان طور که جدول مقایسه میانگین (۷) نشان می دهد، نحوه تغییرات شاخص CWSI در تیمارهای مختلف، نیز مشابه تغییرات (T_c-T_a) بوده است. میزان افزایش شاخص تنش سه تیمار IR₈₀، IR₆₀ و IR₄₀ نسبت به تیمار شاهد برابر ۱۰، ۴۷ درصد و ۱۴۲ درصد به دست آمد. این نتایج بیان کننده این است که این شاخص، نسبت به تغییرات دمایی بسیار



شکل ۲- رابطه شاخص تنش آبی و هدایت روزنه ای در گیاه مرزه

و ۴۰ درصد رطوبت سهل الوصول انجام گرفت. بر اساس نتایج، معادله خط مبنای بالا برابر $(Tc-Ta)_{UL} = 0.69$ و خط مبنای پایین به صورت $(Tc-Ta)_{LL} = 0.2787 -$ حاصل گردید و میزان شاخص CWSI (0.1134(VPD)) تحت چهار تار IR₁₀₀، IR₈₀، IR₆₀ و IR₄₀ به ترتیب برابر ۰/۱۹، ۰/۲۱، ۰/۲۸ و ۰/۴۶ به دست آمد. نتایج نشان میدهد حد مجاز شاخص CWSI برای برنامه ریزی آبیاری در شرایط آبیاری کامل گیاه مرزه برابر ۰/۱۹ می باشد. میزان

نتیجه گیری

در این تحقیق اثر تنش آبی، بر روی عملکرد گیاه معنی دار گردید. نتایج نشان داد با افزایش تنش آبی میزان عملکرد کاهش یافت. پایش دمای پوشش سبز و استفاده از شاخص CWSI یکی از روش های مهم در برنامه ریزی آبیاری می باشد. برای بررسی وضعیت شاخص CWSI تحت شرایط تنش آبی، این تحقیق بر روی گونه گیاهی مرزه، در گلدان ها، تحت چهار تیمار آبیاری ۱۰۰، ۸۰، ۶۰

⁵ stomatal conductance

شاخص تنش آبی و اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا در تیمارهای IR₁₀₀ و R₈₀ تفاوت معنی داری نداشتند و برعکس اختلاف بین مقادیر در تیمارهای IR₆₀، IR₁₀₀ و IR₄₀ معنی دار گردید. در این حقیق رابطه بین هدایت روزنه‌ای و میزان شاخص CWSI نیز مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد هر دو شاخص، رابطه مستقیم با هم دارند.

فهرست منابع

۱. احمدی، ح. نصراللهی، ع. ح. شریفی‌پور، م؛ و عیسوند، ح. ر. ۱۳۹۶. برنامه‌ریزی آبیاری سویا با استفاده از اختلاف دمای هوا و پوشش گیاهی. مدیریت آب و آبیاری. دوره ۷، شماره ۱، ۱۲۱-۱۳۳.
۲. برومندنسب، س. طاهری‌قناد، س. و معیری، م. ۱۳۸۳. استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه برای برنامه‌ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط خوزستان. مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۷، ۴۷-۵۶.
۳. درگاهی، ی. اصغری، ع. شکرپور، م. رسول‌زاده، ع. ۱۳۹۱. اثر تنش کم آبی بر خصوصیات مورفولوژیک ریشه در ارقام کنجد. مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی. دوره ۵، شماره ۴، ۱۵۱-۱۷۲.
۴. سعیدی‌نیا، م. برومندنسب، س. هوشمند، ع. سلطانی‌محمدی، ا. و اندرزیان، ب. ۱۳۹۵. قابلیت کاربرد شاخص CWSI برای برنامه‌ریزی ذرت با آب شور در اهواز. دانش آب و خاک. دوره ۲۶، شماره ۱، ۱۷۳-۱۸۵.
۵. سیفی، ا. میرلطیفی، س. م. دهقانی‌سانج، 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. مدیریت آب و آبیاری. دوره ۴، شماره ۱، ۱۲۳-۱۳۶.
۶. عزیززاده، ه. ۱۳۸۸. رابطه آب خاک و گیاه. چاپ نهم. انتشارات آستان قدس رضوی. صفحه ۴۸۴.
۷. محمدپور، م. عباس‌زاده، ب. آزادبخت، م. و مینویی‌مقدم، ج. ۱۳۹۶. بررسی ترکیبات عمده اسانس گیاه دارویی مرزه (*Satureja hortensis* L.) تحت تأثیر تاریخ کاشت و تراکم در استان مازندران. مجله داروهای گیاهی. دوره ۸ (ویژه‌نامه فارسی)، ۱۴۱-۱۴۸.
۸. محمدی، ه. برومندنسب، س. نصراللهی، ع. ح. و ایزدپناه، ز. ۱۳۹۵. بررسی تأثیر رژیم‌های مختلف آبیاری قطره‌ای ذرت روی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI). مجموعه مقالات دومین کنگره ملی آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
9. Candogan, B.K., Shncik, M., Buyukcangaz, H., and Demirats, C. 2013. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit irrigated soybean [*Glycine max* (L.) Merr. In sub-humid climatic conditions. *Agricultural water Management*. 118: 113-121.
10. Colak, Y.B; Yazar, A; Colak, I; Akca, H. and Duraktenkin, G. 2015. Evaluation of Crop Water Stress Index (CWSI) for Eggplant under Varying Irrigation Regimes Using Surface and Subsurface Drip Systems. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. 4: 372 – 382.
11. Gontia, N.K., and Tiwari, K.N. 2008. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. *Agricultural water management*. 95(10): 1144-1152.
12. Howell, T. A., and Dusek, D. A. 1995. Comparison of vapor-pressure-deficit calculation methods—southern high plains. *Irrigation and drainage engineering*. 121(2): 191-198.
13. Idso, S.B., Reginato, R.J., Reicosky, D.C. and Hatfield, J., 1981. Determining soil-induced plant water potential depressions in alfalfa by means of infrared thermometry 1. *Agronomy Journal*. 73(5):826-830.
14. Jackson, R.D., Idso, S.B., Reginato, R.J., and Pinter, P.J. 1981. Canopy temperature as a crop water stress indicator. *Water Resources Research*. 17(4): 1133-1138.

Effect of Water Stress on Yield and Canopy Cover Temperature and Determination of CWSI for Summer Savory (*Satureja hortensis*)

M. Saeedinia¹*, S. H. Hosseinian, F. Beiranvand, and A. H. Nasrollahi

Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. saeedinia.m@lu.ac.ir

PhD Student of Crop Ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran.

hosseinian.ha@fa.lu.ac.ir

PhD Student, Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran.

farhadbeiranvand@yahoo.com

Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran. nasrollahi.a@lu.ac.ir

Abstract

Considering the great value of water, irrigation scheduling, and cultivation of medicinal plants, this research was conducted at the Faculty of Agriculture, Lorestan University, with the aim of scheduling irrigation of summer savory using CWSI and applying different levels of water stress under the condition of pot planting. In this research, seeds of summer savory were cultivated with three replications under four irrigation treatments of 100%, 80%, 60%, and 40% of readily available water (RAW) (IR₁₀₀, IR₈₀, IR₆₀ and IR₄₀). Irrigation of the control treatment (IR₁₀₀) was carried out when all the soil RAW was depleted. Irrigation of the other three treatments was carried out at the same time but with, respectively, 80%, 60%, and 40 percent of the volume applied to IR₁₀₀. The canopy cover temperature in IR₁₀₀ and air temperature (dry and wet) were measured on the day after (8-14 o'clock) and before irrigation (12-15 o'clock) in order to construct the lower and upper limits base lines required to calculate CWSI. According to the result, the upper base line equation is $(Tc-Ta)_{UL} = 0.69$, and the lower base line is $(Tc-Ta)_{LL} = 0.2787 - 0.1134 (VPD)$. Result showed that the effect of water stress on yield was significant. The highest yield was observed in IR₁₀₀ (1.756 g / plant) and the lowest yield was observed in IR₄₀ (1.421 g / plant). The crop water stress index (CWSI) of the four treatments in the day before irrigation was 0.19, 0.21, 0.28, and 0.46, respectively. According to this information, the permissible CWSI index for irrigation scheduling of summer savory growing in pots was 0.19. The result of means comparison indicated that differences between IR₁₀₀ and IR₈₀ in values of CWSI and canopy cover temperature were not significant, but they were significant between IR₁₀₀, IR₆₀ and IR₄₀. The increment of CWSI in IR₈₀, IR₆₀ and IR₄₀ were 10%, 47%, and 142 percent relative to the IR₁₀₀. In this research, a strong correlation ($r = -0.978^*$) was obtained between CWSI and stomatal conductance.

Keywords: Crop Water Stress Index, Irrigation scheduling, Medicinal plant, Stomatal conductance

¹ - Corresponding author: Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, Lorestan, Iran.

*-Received: August 2018, and Accepted: August 2019

15. Kar, G., and Kumar, A. 2007. Surface energy fluxes and crop water stress index in groundnut under irrigated ecosystem. *Agricultural and Forest Meteorology* 146: 94–106.
16. 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.
17. Kulkarni, M., and Swati, P. 2009. Evaluating variability of root size system and its constitutive traits in hot pepper (*Capsicum annum* L.) under water stress. *Scientia Horticulturae*, 120(2), 159-166.
18. Lebourgeois, V., Chopart, J.L., Begue, A., and Mezo L.L. 2010. Towards using a thermal infrared index combined with water balance modeling to monitor sugarcane irrigation in a tropical environment. *Agricultural Water Management*. 97(1): 75-82.17.
19. Li, L., Nielsen, D.C., Yu, Q., Ma, L., and Ahuja, L.R. 2010. Evaluating the crop water stress index and its correlation with latent heat and CO₂ fluxes over winter wheat and maize in the North China plain. *Agricultural Water Management*. 97: 1146–1155.
20. Liu, H.S., Li, F.M. and Xu, H. 2004. Deficiency of water can enhance root respiration rate of drought-sensitive but not drought-tolerance spring wheat. *Agricultural Water Management*. 64: 41-48.
21. Merrill, S.D., Tanaka, D.L. and Hanson, J.D. 2002. Root length growth of eight crop species in Haplustoll soils. *Soil Science Society of America Journal*. 66: 913-923.
22. Metin Sezen, S., Yazar, A., Dasgan, Y., Yucel, S., Akyıldız, A., Tekin, S., and Akhoundnejad, Y. 2014. Evaluation of crop water stress index (CWSI) for red pepper with drip and furrow irrigation under varying irrigation regimes. *Agricultural Water Management*. 143: 59–70.
23. O’Shaughnessy, S.A., Evett, S.R., Colaizzi, P.D., and Howell, T.A. 2012. A crop water stress index and time threshold for automatic irrigation scheduling of grain sorghum. *Agricultural Water Management*. 107: 122– 132.
24. Pinter, P.J., Zipoli, G., Reginato, R.J., Jackson, R.D., Idso S.B., and Hohman, J.P. 1990. Canopy temperature as an indicator of differential water use and yield performance among wheat cultivars. *Agricultural Water Management*. 18: 35-48.
25. Riberio, R.V., Machado, E.C. and Santos, G. D. 2005. Leaf temperature in sweet orange plants under field condition: influence of meteorological elements. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. 13(2): 353-368.
26. Satil, F., and Kaya, A. 2007. Leaf anatomy and hairs of Turkish *Satureja* L. (Lamiaceae). *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 49(1): 67-76.
27. Sepaskhah, A.R., and Kashefipour, S.M. 1994. Relationship between leaf water potential, CWSI. Yield and fruit quality of sweet Lime under drip irrigation. *Agricultural Water Management*. 25(1): 13-21.25.
28. Skocibusic M., Bezic, N., Dunkic, V. 2006. Phytochemical composition and antimicrobial activities of the essential oils from *Satureja subspicata* Vis. Growing in Croatia. *Food Chemistry*. 96: 20-28.
29. Wang D and Gartung J, 2010. Infrared canopy temperature of early-ripening peach trees under postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 97: 1787–1794.