



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



پایش وضعیت آبی درختان زیتون به روش تصویربرداری حرارتی

نویسندگان

پدرام شعاع^{۱*}، عباس همت^۲، رسول امیر فتاحی^۳، مهدی قیصری^۴

۱ و ۲- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و استاد گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه

صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۳۱۱۱-۸۵۱۵۶

۳- دانشیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان ۸۳۱۱۱-۸۵۱۵۶

ایمیل مکاتبه کننده: pedramshoa@gmail.com

چکیده

بمنظور کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی، روش‌هایی تحت عنوان کم آبیاری، با اعمال سطح مشخصی از تنش آبی پیشنهاد می‌شود. مدیریت و کنترل دقیق سطح تنش آبی اعمال شده به گیاه، برای جلوگیری از افت شدید محصول، ضروری می‌باشد. روش‌های مرسوم اندازه‌گیری تنش آبی، مانند هدایت روزنه‌ای، وقت گیر بوده و نیاز به نیروی متخصص و تکرار زیاد دارد. دمای سطح برگ یا کانوپی می‌تواند شاخصی از هدایت روزنه‌ای یا سطح تنش آبی باشد، ولی عوامل محیطی نیز نقش بسزایی در دمای کانوپی دارند. با مقایسه دمای کانوپی با دمای دو مرجع مصنوعی تر و خشک در شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)، از تاثیر عوامل محیطی کاسته می‌شود. ترموگرافی روشی نوین در اندازه‌گیری دما بصورت غیر تماسی بوده که قادر به استخراج دمای گیاه بدون دخالت در فعالیت برگ‌ها می‌باشد. هدف اصلی این پژوهش استخراج شاخص تنش آبی گیاه با استفاده از تصاویر ترموگرافی و بررسی توانایی آن در پیش‌بینی هدایت روزنه‌ای می‌باشد. بدین منظور از درختان زیتون در پنج سطح کم آبیاری و از هر سطح سه درخت، تصویر برداری شد. مراجع تر و خشک نیز برای این منظور طراحی و در میدان دید دوربین قرار داده شد. نتایج نشان داد که این شاخص بخوبی قادر به پیش‌بینی هدایت روزنه‌ای درخت زیتون می‌باشد. ($R^2=0/83$)

واژه‌های کلیدی: ترموگرافی، تنش آبی، دمای کانوپی، هدایت روزنه‌ای، شاخص تنش آبی گیاه

مقدمه

کمبود آب شیرین یکی از بزرگترین چالش‌هایی است که بشر در سال‌های اخیر با آن روبرو شده است. کشاورزی بزرگترین مصرف کننده آب شیرین است. به عبارت دیگر این بخش حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد آب شیرین قابل استحصال را استفاده



می‌کند، ولی در بهترین شرایط نیز به راندمان بالایی نخواهد رسید (حمدی و همکاران، ۲۰۰۳). یکی از جدیدترین راهکارهای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی، استفاده از روش‌های کم آبیاری است. هنگامی که آب انتقالی به گیاه کمتر از نیاز آبی گیاه (تبخیر-تعرق روزانه، ET) باشد، گیاه دچار سطحی از تنش آبی خواهد شد. با اعمال سطوح مشخص و دقیقی از تنش آبی، می‌توان کاهش بسیار کمی در تولید محصول و در پی آن، افزایش راندمان مصرف آب (نسبت مقدار عملکرد محصول به آب مصرفی) یا به اختصار WUE را انتظار داشت (کاستا و همکاران، ۲۰۰۷). زیتون یکی از گیاهان مقاوم به خشکی بوده که اخیراً با افزایش نیاز بازار با توجه به تاثیر زیتون در افزایش سلامت و امکان رشد در مناطق خشک و نیمه خشک و شرایط سخت جوی، با استقبال زیادی در جهان روبرو شده است (کاروسو و همکاران، ۲۰۱۳). علاوه بر این، اعمال سطوح مشخصی از تنش قبل از برداشت میوه موجب افزایش کیفیت روغن زیتون می‌گردد (آگام و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین پایش وضعیت آبی گیاه برای اعمال سطوح مشخصی از تنش آبی، کمک شایانی به مدیریت هرچه بهتر آبیاری و افزایش کیفیت محصول می‌نماید.

روش‌های مرسوم پایش وضعیت آبی گیاهان را میتوان به روش‌های خاک‌مبنا، با اندازه‌گیری پتانسیل یا محتوای آبی خاک، روش‌های گیاه‌مبنا مانند پتانسیل یا محتوای رطوبتی برگ و روش‌هایی فیزیولوژیکی از جمله هدایت روزنه‌ای و جریان شیره گیاهی تقسیم بندی نمود. از مشکلات این روش‌ها می‌توان به زمان و هزینه‌ی بالای مورد نیاز برای نمونه‌گیری کافی و در نتیجه دستیابی به وضعیت کلی گیاه به دلیل زمان‌بر بودن این آزمایش‌ها، نام برد (جکسون و همکاران، ۱۹۸۱؛ جونز، ۲۰۰۴).

با کمبود آب در منطقه ریشه، گیاه برای از دست ندادن رطوبت خود از طریق تعرق، اقدام به بستن روزنه‌های خود می‌کند. این امر موجب جلوگیری از اتلاف انرژی ورودی به برگ از طریق تابش خورشیدی می‌شود. عدم اتلاف انرژی از طریق تعرق موجب افزایش دمای برگ خواهد شد. بنابراین دمای برگ یا کانوپی شاخصی از وضعیت آبی گیاه خواهد بود (جونز و همکاران، ۲۰۰۹).

با گسترش روزافزون فناوری‌های غیر تماسی، امکان اندازه‌گیری دمای کانوپی گیاه بصورت سنجش از دور و بدون دخالت در فعالیت برگ‌ها، امکان پذیر شده‌است. روش‌های غیر تماسی را میتوان به دو دسته‌ی (۱) تصویر بردار (دوربین‌های ترموگرافی) و (۲) ترمومتری تقسیم بندی نمود. با نصب ترمومتر فرسوخ در قسمتی از مزرعه، این وسیله دمای میانگین میدان دید خود را اندازه‌گیری می‌کند. عیب اساسی این گونه وسایل ارائه دمای متأثر از تابش حرارتی گیاه و پس زمینه مانند خاک و احتمالاً آسمان است. این اختلاط استخراج دمای کانوپی را بسیار سخت و خطای تخمین را بالا می‌برد (جکسون و همکاران، ۱۹۸۱؛ موران و همکاران، ۱۹۹۴). به وسایلی که تصویر حرارتی ارائه می‌کند دوربین ترموگرافی گفته می‌شود. این دوربین‌ها بسیار دقیق بوده و قابلیت ارائه دمای دقیق سطح (T_s)، بجای دمای تابشی (T_{br})، را دارند، اما دمای پس زمینه و ضریب گسیلندگی باید توسط کاربر به دوربین داده شود (جونز و همکاران، ۲۰۰۳؛ مایز و استپ، ۲۰۱۲). مزیت اصلی



روش تصویر برداری امکان انتخاب کانوپی گیاه با استفاده از نرم افزار دوربین ترموگرافی بوده که بوسیله کشیدن اشکالی روی مناطق مورد نظر (ROI^۱) و استخراج دمای میانگین این قسمت‌ها انجام میشود (پو و همکاران، ۲۰۱۴).

بیان انرژی برای برگ با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$R_n = H + E \quad (1)$$

R_n میزان تشعشعات خالص، H شار گرمایی محسوس، λE شار گرمای نهان است و هر دو بر حسب وات بر متر مربع بیان می‌شوند. شار گرمایی محسوس، انتقال گرما یا انرژی بصورت همرفت از سطح برگ به محیط پیرامون بوده که تابع سرعت باد، دمای هوا و همچنین دمای برگ می‌باشد. شار گرمای نهان که به تعرق برگ مرتبط می‌شود نیز تابعی از فشار بخار هوا و همچنین میزان هدایت روزنه‌ای برگ به بخار آب بوده که شاخص تنش آبی می‌باشد. پس علاوه بر تغییرات هدایت روزنه‌ای، تشعشعات خالص خورشیدی، دمای هوا، فشار بخار هوا و سرعت باد نیز باعث تغییر در دمای برگ خواهند شد (مایز و استپ، ۲۰۱۲). برای پایش وضعیت آبی گیاه بوسیله‌ی دمای گیاه به نرمال سازی دمای گیاه با چهار عامل ذکر شده نیاز است (جونز و همکاران، ۲۰۰۹). برای حل این مشکل شاخص‌های تنش زیادی ارایه شده است که بر اساس هدف آزمایش، می‌توان از آنها استفاده نمود (مایز و استپ، ۲۰۱۲).

قوی‌ترین روش در ارزیابی تنش رطوبتی، شاخص تنش آبی گیاه (CWSI^۲) است. شاخص تنش آبی گیاه بر مقایسه دمای گیاه مورد نظر با دو دمای فرضی گیاه پتانسیل و گیاه خشک استوار است. گیاه پتانسیل همان گیاه مورد نظر در شرایطی است که با نرخ بیشینه‌ی خود تعرق (λE_{pot}) می‌کند. این گیاه هیچگونه تنش رطوبتی ندارد. گیاه خشک دارای نرخ تعرق صفر است. این گیاه فرضی را میتوان با سطوح مرجع مصنوعی شبیه سازی نمود. بنابراین، این گیاه در بیشینه‌ی تنش آبی قرار دارد. این شاخص بصورت رابطه زیر بیان می‌شود:

$$CWSI = 1 - \frac{E}{E_{pot}} = \frac{(T_c - T_{wet})}{(T_{dry} - T_{wet})} \quad (2)$$

در این رابطه T_c دمای کانوپی، T_{wet} دمای مرجع تر و T_{dry} دمای مرجع خشک می‌باشد. جنس این مراجع عموماً از لایه‌های بدون بافت پنبه و یا ویسکوز استفاده می‌شود و شکل این مراجع نیز متفاوت بوده و برای شرایط مختلف اندازه‌گیری طراحی و ساخته می‌شود. گزارش (مرون و همکاران، ۲۰۱۰) شده است که با به کار بردن سطوح مرجع یادشده، CWSI با پتانسیل آب برگ در مزارع پنبه و سویا رابطه بهتری پیدا کرد. از شاخص CWSI برای تعیین سطح تنش رطوبتی در باغات انگور نیز با موفقیت استفاده شده است (مولر و همکاران، ۲۰۰۷). با توجه به سادگی روش اندازه‌گیری، در صورت وجود دوربین‌های ترموگرافی، می‌توان از این روش برای تهیه نقشه تغییرپذیری تنش آبی در باغات استفاده نمود.

^۱ Region of interest

^۲ Crop water stress index



محققین تحت شرایط آب و هوایی مختلف رابطه میان شاخص تنش آبی گیاه و هدایت روزنه‌ای را بررسی کردند و دریافتند که، رابطه میان CWSI و هدایت روزنه‌ای خطی نبوده ولی مستقل از تشعشعات خورشیدی و فشار بخار هوا است (مایز و همکاران، ۲۰۱۱). اگر تنها خطاهای اندازه‌گیری را به حساب آوریم توان تفکیک‌پذیری این شاخص میان تیمارهای مختلف تنش آبی با افزایش تشعشعات خورشیدی، دمای هوا، افت فشار بخار هوا و کاهش سرعت باد که بیشتر در اواسط تابستان مناطق گرم و خشک مانند مرکز ایران رخ می‌دهد، افزایش می‌یابد.

مورد دیگری که در اندازه‌گیری دمای کانوپی وجود دارد، زاویه و جهت بهینه‌ی تصویر برداری می‌باشد. تنها در جهتی خاص که به ساختار کانوپی، زاویه تصویر برداری نسبت به سمت الراس^۳ (خط عمود بر صفحه کانوپی در دید از بالا) و بسیاری دیگر از شرایط اندازه‌گیری بستگی دارد، دمای کانوپی بدست آمده از تصویر گرمایی درکی درست از وضعیت آبی گیاه ارایه خواهد داد. به این دما، دمای برگ بزرگ گفته می‌شود (ماتسوشیما، ۲۰۰۵). وقتی تصویر برداری دید از بالا انجام می‌شود در حقیقت از لایه بیرونی کانوپی تصویر برداشته و این لایه چون تابش مستقیم خورشید قرار گرفته است دمایی بالاتر از دمای برگ بزرگ را نشان می‌دهد. تصویر برداری دید از کنار کانوپی، بهترین شرایط برای استخراج دمای برگ بزرگ است (بلونکوئیست و همکاران، ۲۰۰۹). جهت‌های تصویر برداری بستگی زیادی به جهت تابش خورشید داشته که بنا بر شرایط آزمایش می‌بایست تعیین گردد (مایز و استپ، ۲۰۱۲).

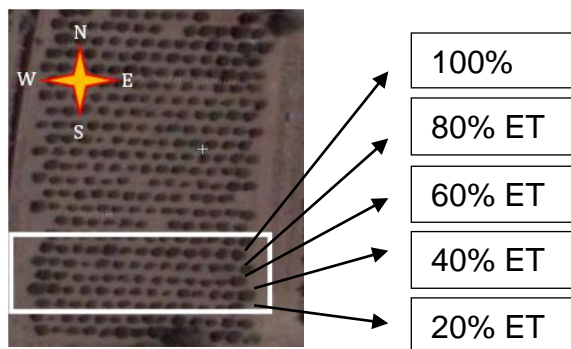
هدف از انجام این پژوهش، امکان سنجی استفاده از دمای کانوپی درخت زیتون مستخرج از تصاویر ترموگرافی فروسرخ بمنظور پایش وضعیت آبی و همچنین بررسی استفاده از شاخص تنش آبی گیاه با استفاده از مراجع مصنوعی طراحی شده بود. امکان سنجی این روش در پیش بینی وضعیت آبی گیاه در شرایط ایران کمک شایانی به افزایش راندمان مصرف آب در بخش کشاورزی خواهد نمود.

مواد و روش‌ها

این طرح پژوهشی در باغ پژوهشی زیتون واقع در اصفهان انجام گرفت. میانگین سالانه بارش در این باغ ۱۸۵ میلی متر است و گرمترین ماه سال تیرماه گزارش شده است. این باغ دارای درختان زیتون ۸ ساله با آرایش کشت ۴×۴ متر و ارقام زرد، بلیدی و روغنی بوده که در این طرح برای یکسان بودن نتایج فقط از درختان رقم زرد استفاده شد. آزمایش در پنج سطح کم آبیاری (۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه) محاسبه شده با روش پنمن-مونتیس^۴ انجام شد (شکل ۱).

^۳ Zenithal angel

^۴ Penman-Monteith



شکل ۱- نقشه‌ی هوایی باغ پژوهشی زیتون (نقشه گوگل) و تیمارهای آبی بر حسب تبخیر تعرق روزانه

روش آبیاری از نوع آبیاری تحت فشار زیر سطحی بوده که بصورت لوله‌های سوراخ دار و پوشش داده شده با لیاف نرم و توری دار، در عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی‌متری خاک قرار داده شده بود. هر ردیف از درختان به یک سطح تنش اختصاص داده شده بود. از هر سطح تنش به صورت تصادفی سه درخت انتخاب شد. آزمایش در روزهای سی‌ام و سی و یک‌ام تیر ماه سال ۱۳۹۳ انجام شد و در حوالی روزهای آزمایش هیچ بارندگی رخ نداد. به منظور حصول بهترین نتایج و استفاده از نتایج برای پیش‌بینی زمان آبیاری، این آزمایش‌ها در روز قبل از آبیاری انجام گرفت.

تصاویر گرمایی در این تحقیق با استفاده از یک دوربین ترموگرافی غیر خنک شونده (شکل ۲)، مدل SAT G90 ساخت شرکت مادون قرمز گوانگزو فراهم شد. این دوربین به فناوری سنسورهای میکروبولومتر، حساس به باند طول موج ۸ تا ۱۴ میکرومتر مجهز بوده و دارای قدرت تفکیک ۳۲۰ در ۲۴۰ پیکسل در میدان دید ۲۴ در ۱۸ درجه می‌باشد. این دوربین دارای قدرت تفکیک دمایی ۰/۰۸ درجه سلسیوس است. دوربین قابلیت ارائه تصاویر مرئی نیز داشت. یک حسگر CCD که در بالای لنز ترموگرافی تعبیه شده بود که تصاویر مرئی را فراهم می‌آورد. برای کارایی بهتر دوربین، دمای آرایه شده با دمای محیط، رطوبت نسبی و همچنین فاصله کانوپی از لنز کالیبره شد. این موارد با استفاده از یک دستگاه هواشناسی قابل حمل (Weather meter, AZco.) اندازه‌گیری و وارد نرم افزار دوربین شد. مورد بعدی برای اندازه‌گیری دما ضریب گسیلندگی بوده که بر اساس مطالعات پیشین مقدار ۰/۹۸ برای درخت زیتون پیشنهاد شده است (آگام و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۲: دوربین ترموگرافی



با توجه به الگوی کشت درختان، دوربین ترموگرافی در فاصله ۴ متری از هر درخت و توسط سه پایه برای تصویر برداری ثابت می‌شد. با این شرایط تصویر برداری دارای قدرت تفکیک مکانی ۰/۵۳ سانتی متر (هر پیکسل ۰/۲۸ سانتی متر مربع) بود.

بمنظور بازسازی شرایط گیاه پتانسیل و خشک، مراجع تر و خشک روی یک پایه در کمترین فاصله ممکن از درخت در زاویه دید دوربین قرار داده شد. یک قطعه آلومنیوم چروکیده شده نیز برای محاسبه تابش پس زمینه به منظور استخراج هرچه دقیق تر دمای کانوپی در نزدیکی مراجع تر و خشک قرار داده شد (جونز و همکاران، ۲۰۰۳). دمای سطح کانوپی از رابطه زیر محاسبه شد:

$$T_c = 4 \sqrt{\frac{(T_{br}^4 - (1 - \varepsilon) T_{bg}^4)}{\varepsilon}} \quad (3)$$

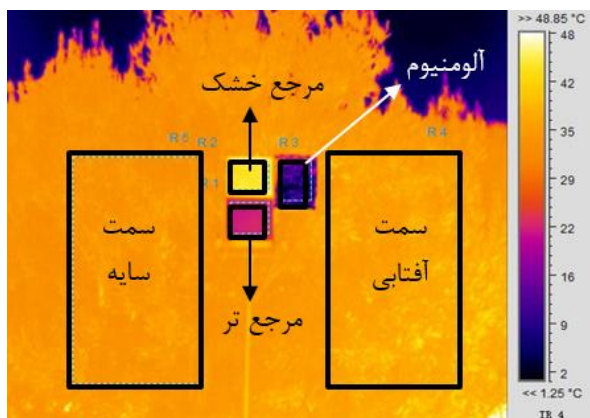
T_c دمای اصلاح شده کانوپی، T_{br} دمای تابشی کانوپی مستخرج از تصویر ترموگرافی، T_{bg} دمای پس زمینه بدست آمده از قطعه آلومنیوم چروکیده و ε نیز ضریب گسیلندگی می‌باشد (مایز و استپ، ۲۰۱۲).

از آنجایی که گیاه در درون خود آب را نگهداری می‌کند جنس مراجع نیز باید بصورت بدون بافت بوده تا آب را در میان الیاف خود نگهداشته و بصورت غیر مستقیم در جهت تقلید شرایط برگ تبخیر نماید. الیاف ویسکوز بهترین جاذب آب بوده ولی نمی‌تواند فرم خوبی برای ایجاد شرایط برگ به خود بگیرند، در نتیجه از الیاف بدون بافت که مخلوطی از ویسکوز و کمی پلی استر بود استفاده گردید (آگام و همکاران، ۲۰۱۳). نام تجاری این منسوجات بی بافت متفاوت بوده و به لای یا پارچه‌های ویسکوز-پلی استر معروف می‌باشند. برای ایجاد شرایط جذب یا بازتاب نوری یکسان با برگ، سطوح به رنگ سبز زیتونی انتخاب شد. این الیاف دارای گسیلندگی برابر با برگ یعنی ۰/۹۸ می‌باشد. از این الیاف مخصوص در دو قسمت بالا و پایین قاب فلزی استفاده شد. قسمت بالایی خشک بوده و تبخیر ندارد و مسلماً با دریافت نور خورشید، دمای بالایی را خواهد داشت. ولی قسمت پایینی که بخشی از آن داخل مخزن ذخیره آب است، با تبخیر آب از سطح مرجع، با توجه به خاصیت فیتیله ای، آب را دوباره بالا کشیده و بنابراین همیشه مرطوب بود. هر دو قسمت دارای ابعاد یکسان بوده و به دلیل عدم تاثیر این دو مرجع روی یکدیگر مرجع خشک در بالا و مرجع تر در پایین در نظر گرفته شد. در اکثر مطالعات برای دمای مرجع خشک، دمای هوا بعلاوه پنج درجه پیشنهاد شده است و در این پژوهش نیز استفاده و کارایی دو روش ارزیابی شد (ایرمارک و همکاران، ۲۰۰۰).

برای بدست آوردن شاخص تنش آبی گیاه به سه دمای کانوپی، مرجع تر و مرجع خشک، با توجه به رابطه ۲، نیاز است. با توجه به شکل ۳، دمای قسمت‌های مختلف از تصویر ترموگرافی استخراج شد. برای استخراج دمای کانوپی از اشکال مستطیل شکل در نرم افزار دوربین استفاده شد. در این جهت از تصویر برداری، سمت راست کانوپی تحت تابش مستقیم نور خورشید بود که اکثر برگ‌ها در حالت آفتابی کامل بودند. این سمت آفتابی نامیده شد. سمت چپ کانوپی در تصویر بیشتر



در سایه بود، بطوریکه برگ‌های سایه بسیار بیشتر از برگ‌های آفتابی بودند. به این سمت نیز سمت سایه اطلاق میشود. در قسمت بعدی به بحث در مورد استفاده از دمای قسمت‌های یاد شده در شاخص تنش بحث خواهد شد. تصویر برداری در دو جهت جنوبی شمالی (جهت اول) و شرقی غربی (جهت دوم) و در ساعت ۱۲ ظهر انجام گرفت (مرون و همکاران، ۲۰۱۳).



شکل ۳: استخراج دماهای مختلف از تصویر حرارتی

برای بررسی توانایی این روش در پیش بینی وضعیت آبی گیاه، رابطه‌ی میان شاخص تنش آبی گیاه با هدایت روزنه‌ای بررسی شد.

هدایت روزنه‌ای برگ‌ها توسط یک دستگاه پرومتر برگ^۵ ساخت شرکت دکاگون^۶ ایالات متحده (شکل ۴)، بلافاصله پس از تصویر برداری، اندازه‌گیری شد.



شکل ۴: پرومتر برگ

^۵ Leaf porometer

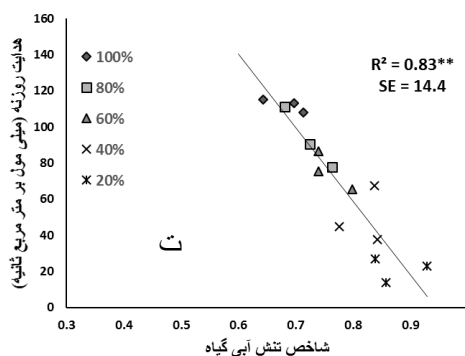
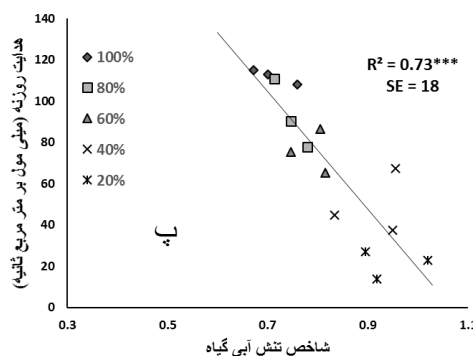
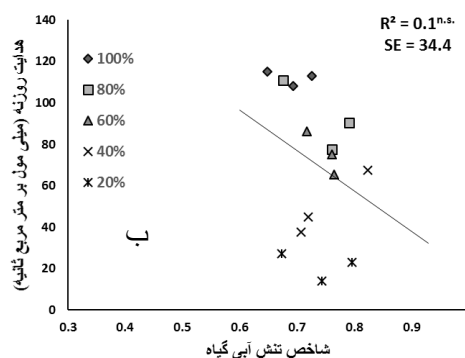
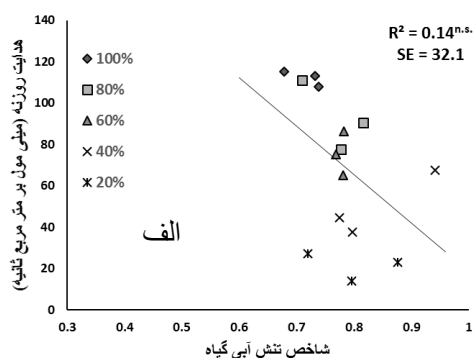
^۶ Decagon



برای هر درخت تعداد چهار برگ بالغ و در معرض آفتاب انتخاب شد. هدایت روزنه‌ای برای هر درخت بصورت میانگین این چهار مقدار محاسبه شد. رابطه بین شاخص تنش آبی گیاه با هدایت روزنه‌ای با مدل رگرسیون خطی تعیین شد. ضریب تبیین تنظیم شده و همچنین خطای استاندارد به عنوان معیارهای انتخاب بهترین روش از میان روش‌های ذکر شده برای محاسبه شاخص تنش، استفاده شدند.

نتایج و بحث

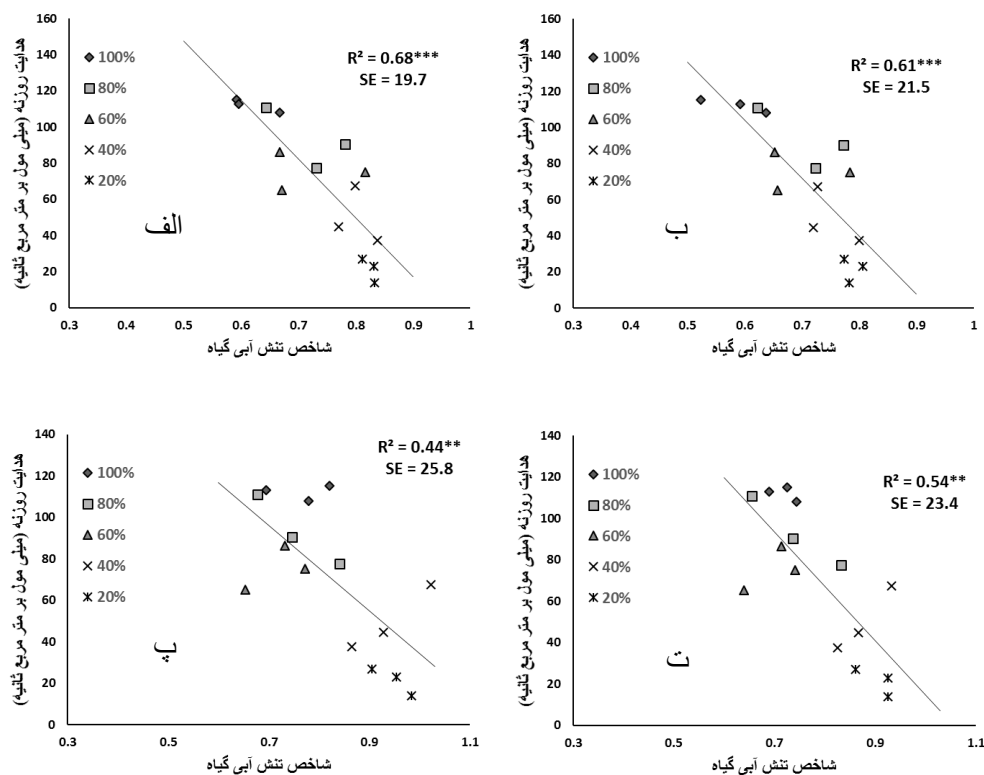
تصویربرداری در دو جهت مختلف نسبت به تابش خورشیدی انجام شد. در انتخاب مراجع، مرجع تر همواره در محاسبه شاخص‌ها استفاده شد ولی مرجع خشک به دو صورت: (۱) مرجع مصنوعی موجود در تصویر و (۲) دمای هوا بعلاوه پنج درجه، که در مطالعات قبلی نیز مورد استفاده قرار گرفته شده بود (مرون و همکاران، ۲۰۱۳)، در محاسبه‌ی شاخص تنش آبی گیاه مورد استفاده قرار گرفت. جهت دوم (شرقی-غربی) بیانگر سمت شرقی کانوپی بود و تحت تابش خورشیدی بیشتری قرار می‌گیرد بنابراین اکثر برگ‌ها بصورت آفتابی بودند. ولی در جهت اول که رو به شمال تصویر برداری می‌شد، و میتوان آنرا جهت عمود بر حرکت خورشید دانست، برگ‌ها در وضعیت متعادل‌تری نسبت به تابش خورشیدی بودند و تعادلی میان برگ‌های سایه و آفتابی برقرار بود.



شکل ۵: رابطه‌ی شاخص تنش آبی گیاه با هدایت روزنه‌ای در جهت اول تصویر برداری با استفاده از مرجع گرم مصنوعی بترتیب برای برگ‌های (الف) آفتابی و (ب) سایه؛ و استفاده از دمای هوا بعلاوه پنج درجه بترتیب برای برگ‌های (پ) آفتابی و (ت) سایه



نتایج نشان داد که استفاده از مرجع مصنوعی خشک در محاسبه شاخص تنش آبی گیاه کارآیی کمتری داشته و به جای آن باید از دمای هوا بعلاوه پنج درجه، استفاده شود (مقایسه نمودارهای شکل ۵ و ۶). این امر به دلیل یکسان نبودن خصوصیات آیرودینامیکی مرجع مصنوعی با برگ‌های زیتون می‌باشد. یکی از علل اصلی ناتوانی در تهیه سطوح مرجع مصنوعی با خصوصیات یکسان آیرودینامیکی با برگ‌های زیتون، ابعاد بسیار کوچک برگ‌ها بوده که مرجع مصنوعی با این ابعاد امکان استخراج دما به روش ترموگرافی را به دلیل عدم ایجاد تعداد پیکسل مورد نیاز برای شناسایی سلب می‌کند.



شکل ۶: رابطه‌ی شاخص تنش آبی گیاه با هدایت روزنه‌ای در جهت دوم تصویر برداری با استفاده از مرجع گرم مصنوعی بترتیب برای برگ‌های (الف) آفتابی و (ب) سایه؛ و استفاده از دمای هوا بعلاوه پنج درجه بترتیب برای برگ‌های (پ) آفتابی و (ت) سایه

با توجه به تابش خورشیدی (R_n) بیشتر در جهت دوم تصویر برداری و طبق معادله بالانس انرژی (رابطه‌ی ۱)، سهم شار گرمایی محسوس در تغییر دمای مرجع مصنوعی خشک کاهش یافته و عامل اصلی تغییر دمای این سطح، تابش خورشیدی خواهد بود. همین امر موجب افزایش ضریب تبیین و کاهش خطای استاندارد در روش استفاده از مرجع مصنوعی خشک در جهت دوم اندازه‌گیری نسبت به جهت اول بود (شکل ۶، الف و ب).

استفاده از دمای برگ‌های سایه به عنوان دمای کانوپی نسبت به دمای قسمت‌های آفتابی در محاسبه شاخص تنش آبی نتایج بهتری را ارائه کرد. استفاده از دمای قسمت‌های آفتابی باعث ایجاد بیش تخمینی در محاسبه‌ی شاخص تنش آبی گیاه شد. دمای برگ بزرگ که در بخش اول شرح داده شد، مربوط به برگ‌هایی در میان کانوپی بوده که در معرض تابش مستقیم



خورشید نمی‌باشند. بسیاری از پژوهشگران، دمای قسمت‌های سایه کانوپی را به‌عنوان دمای برگ بزرگ استفاده نموده‌اند (کولایزی و همکاران، ۲۰۰۴؛ مایز و استپ، ۲۰۱۲).

برای اندازه‌گیری دمای کانوپی پیشنهاد می‌شود که از جهت جغرافیایی عمود بر حرکت خورشید (حرکت خورشید از شرق به غرب) استفاده شود. زیرا در این جهت برگ‌ها در معرض تابش مستقیم خورشید نبوده و دمای برگ‌های سایه می‌تواند آرایه‌کننده دمای برگ بزرگ تئوری باشد.

نتیجه‌گیری

استفاده از دمای کانوپی به خوبی قادر به پیش‌بینی وضعیت آبی درختان در باغ زیتون بود و از این روش می‌توان به‌عنوان روش جایگزینی برای روش‌های مرسوم اندازه‌گیری تنش آبی، مانند روش‌های فیزیولوژیکی (پرومتری) که بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر می‌باشند، استفاده نمود.

با استفاده از این روش می‌توان سطوح کم آبیاری را با دقت مطلوبی از طریق گزارش زمان مناسب برای شروع آبیاری بعدی را بدون نیاز به داده‌های هواشناسی (داده‌های هواشناسی معمولاً داده‌های سال قبل یا روزهای قبل بوده، بنابراین دقت بالایی ندارند) بدست آورد.

استخراج دما به روش ترموگرافی به دلیل عدم ایجاد تماس با برگ و اختلال در کارکرد برگ و همچنین ایجاد تصویر دمایی برای کل کانوپی و ایجاد امکان محاسبه‌ی دمای میانگین همه‌ی برگ‌ها (تعداد نمونه برداری بسیار بیشتر از روش پرومتری) و از همه مهم‌تر ایجاد امکان پردازش و تحلیل خودکار کامپیوتری به‌عنوان یک روش بسیار کارآمد و دقیق در بررسی وضعیت آبی درختان با کمترین هزینه کارگری و صرف وقت شناسایی شد.

بهترین جهت برای استفاده از این روش، جهتی است که لنز دوربین رو به شمال باشد و در این جهت تصویر برداری، دمای بدست آمده با دقت بالایی گویای وضعیت آبی درخت می‌باشد.

استفاده از مرجع خشک مصنوعی بنا به دلایل ذکر شده در قسمت نتایج و بحث توصیه نمی‌شود و پیشنهاد می‌گردد از داده‌های یک حسگر دمای هوا در ارتفاعی برابر با ارتفاع میانگین درختان باغ استفاده شود.

منابع و مأخذ

1. Agam, N., Y. Cohen, J.A.J. Berni, V. Alchanatis, D. Cool, A. Dag, U. Yermiyahu and A. Ben-Gal. 2013. An insight to the performance of crop water stress index for olive trees. *Agricultural Water Management*. Vol 118, 79-86.
2. Blonquist, J. M., J. M. Norman and B. Bugbee. 2009. Automated measurement of canopy stomatal conductance based on infrared temperature. *Agricultural and forest Meteorology*. Vol 149, 2183–2197.



3. Caruso, G., H. F. Rapoport and R. Gucci. 2013. Long-term evaluation of yield components of young olive trees during the onset of fruit production under different irrigation regimes. *Irrigation science*. Vol 31, 37-47.
4. Colaizzi, P. D., S. R. Evett, T. A. Howell and J. A. Tolck. 2004. Comparison of aerodynamic and radiometric surface temperature using precision weighing lysimeters. *Remote Sensing and modelling of ecosystems for Sustainability*. Vol 55 (44), 215–229.
5. Costa, J. M., M. F. Ortuno and M. M. Chaves. 2007. Deficit Irrigation as a Strategy to Save Water: Physiology and Potential Application to Horticulture. *Journal of Integrative Plant Biology*. Vol 49 (10), 1421–1434.
6. Hamdi, A., R. Ragheb and E. Scarascia-Mungonza. 2003. Coping with water scarcity: water saving and increasing water productivity. *Irrigation and Drainage*. Vol 52, 3-20.
7. Irmak, S., Haman, D. Z., & Bastug, R. 2000. Determination of crop water stress index for irrigation timing and yield estimation of corn. *Agronomy Journal*. Vol 92, 1221–1227.
8. Jackson, R. D., S. B. Idso, R. J. Reginato and P. J. Pinter. 1981. Canopy temperature as a crop water-stress indicator. *Water Resource Research*. Vol 17, 1133–1138.
9. Jones HG. 2004. Irrigation scheduling: advantages and pitfalls of plant-based methods. *Journal of Experimental Botany*. Vol 55, 2427–2436.
10. Jones, H. G., N. Archer, E. Rotenberg and R. Casa. 2003. Radiation measurement for plant ecophysiology. *Journal of Experimental Botany*. Vol 54, 879–889.
11. Jones, H. G., R. Serraj, B. R. Loveys, L. Z. Xiong, A. Wheaton and A. H. Price. 2009. Thermal infrared imaging of crop canopies for the remote diagnosis and quantification of plant responses to water stress in the field. *Functional Plant Biology*. Vol 36, 978–989.
12. Maes, W. H., W. M. J. Achten, B. Reubens and B. Muys. 2011. Monitoring stomatal conductance of *Jatropha curcas* seedlings under different levels of water shortage with infrared thermography. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol 15, 554–564.
13. Maes, W. H. and K. Steppe. 2012. Estimating evapotranspiration and drought stress with ground-based thermal remote sensing in agriculture: a review. *Journal of Experimental Botany*. Vol 63, 4671–4712.
14. Matsushima, D. 2005. Relations between aerodynamic parameters of heat transfer and thermal-infrared thermometry in the bulk surface formulation. *Journal of meteorological society of japan*. Vol 83, 373–389.
15. Meron, M., M. Sprinstin, J. Tsipris, V. Alchanatis and Y. Cohen. 2013. Foliage temperature extraction from thermal imagery for crop water stress determination. *Precision Agriculture*. Vol 14, 467–477.
16. Meron M., J. Tsipris, V. Orlov, V. Alchanatis, Y. Cohen. 2010. Crop water stress mapping for site-specific irrigation by thermal imagery and artificial reference surfaces. *Precision Agriculture*. Vol 11, 148–162.
17. Möller, M., V. Alchanatis, Y. Cohen, M. Meron, J. Tsipris, A. Naor, V. Ostrovsky, M. Sprintsin and S. Cohen. 2007. Use of thermal and visible imagery for estimating crop water status of irrigated grapevine. *Journal of Experimental Botany*. Vol 58, 827–838.
18. Moran, M. S., T. R. Clarke, Y. Inoue and A. Vidal. 1994 Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote Sensing of Environment*. Vol 49, 246–263.
19. Pou, A., M.P. Diago, H. Medrano, J. Baluja and J. Tardaguila. 2014. Validation of thermal indices for water status identification in grapevine. *Agric. Water Manage.* Vol 134, 60-72



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Water stress monitoring in olive trees using thermal imaging

Abstract

In order to decrease water consumption in agricultural sector, deficit irrigation has been suggested. For preventing a heavy loss in crop yield, management of water stress is essential. Common methods for measuring plant water stress such as stomatal conductance are time-consuming and require specialized labor and a large number of measurement. Temperature of leaf or canopy surface can be an indicator of stomatal conductance or plant water stress. Canopy temperature is not only affected by stomatal conductance, but also with environmental conditions such as air temperature or vapor pressure deficit. Crop water stress index (CWSI) is recently proposed to solve these problems. By comparing the canopy temperature with two reference temperatures in crop water stress index, the effect of environmental conditions can be minimized. Thermography is a non-contact approach toward surface temperature measurement without interfering with plant activities. The general goal of this study was to obtain CWSI using thermal images and to evaluate the potential of this method for predicting the stomatal conductance. In order to achieve this goal, thermal images from olive trees under five deficit irrigation treatments with three replications were obtained. Wet and dry references were developed and putted in field of view of the camera. The results showed a significant ($R^2_{ADJ} = 0.83$) relationship between CWSI and the stomatal conductance.

Keywords: Thermography, Water stress, Canopy temperature, Stomatal conductance, Crop water stress index.