

## بررسی روش‌های الکترو-فیزیکی تعیین تنش آبی و جریان شیرهای در بافت آوندی درختان

مجید تیمورزاده<sup>۱</sup>، جلال برادران مطیع<sup>۲\*</sup>، عباس روحانی<sup>۳</sup>، یحیی سلاح ورزی<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی بیوسیستم، دانشگاه فردوسی مشهد ([teymorzadeh.majid@mail.um.ac.ir](mailto:teymorzadeh.majid@mail.um.ac.ir))

۲. استادیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد ([j.baradaran@um.ac.ir](mailto:j.baradaran@um.ac.ir))

۳. دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد ([arohani@um.ac.ir](mailto:arohani@um.ac.ir))

۴. استادیار، گروه علوم باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد ([selahvarzi@um.ac.ir](mailto:selahvarzi@um.ac.ir))

### چکیده

مدیریت آبیاری در درختان مستلزم تعیین به موقع و دقیق نیاز آبی محصول برای تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌ریزی آبیاری است. از میان روش‌های مختلف، روش‌هایی که بر شاخص‌های تنش آبی مبتنی بر گیاه تکیه دارند، بیشتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. اندازه‌گیری محتوای آب ساقه، دمای تاج پوشش، جریان شیره و تغییر قطر ساقه از میان خصوصیات فیزیکی درختان که متأثر از تغییرات نیاز آبی می‌باشند، نه تنها برای اهداف تحقیقاتی، بلکه برای برنامه‌ریزی دقیق آبیاری در باغ‌های تجاری نیز مفید است. در این مقاله ضمن معرفی روش‌های محفظه فشار، جریان شیرهای، دندرومتر و ترموگرافی به بررسی و مقایسه این روش‌ها پرداخته شده است. در میان این روش‌ها روش جریان شیرهای علاوه بر قابلیت تشخیص زودهنگام تنش آبی و همچنین وضعیت سلامت درخت، می‌تواند جهت ثبت داده‌های مربوط به جریان شیره به‌طور مداوم و خودکار اطلاعات استفاده شود. در بخش جریان شیرهای روش نسبت گرمایی بررسی شد که به جای استفاده از گرمایش مداوم، پالس‌های کوتاه گرمایی اعمال می‌شود و جریان جرمی شیره از طریق محاسبه سرعت حرکت پالس‌های حرارتی در امتداد تنه درخت تعیین می‌گردد.

کلمات کلیدی:

تنش آبی، جریان شیرهای، محفظه فشار، دندرومتر، ترموگرافی.

## بررسی روش‌های الکترو-فیزیکال تعیین تنش آبی و جریان شیرهای در بافت آوندی درختان

### مقدمه

امروزه استفاده انسان و آلودگی آب شیرین به سطحی رسیده است که کمبود آب، تولیدات غذا و عملکرد اکوسیستم را در دهه‌های آینده محدود می‌کند. کشاورزی تاحد زیادی اولین مصرف‌کننده آب شیرین در سراسر جهان است و تقریباً ۸۵ درصد از مصرف جهانی را به خود اختصاص می‌دهد (Jury & Vaux Jr, 2007).

به دلیل قرار داشتن ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک، منابع آب زیرزمینی با کاهش جدی روبرو شده و بارش‌های جوی نیز به حد کافی نمی‌باشد لذا بحران آب در این کشور حدود دو دهه است که به معضل جدی تبدیل شده است (باقری و همکاران، ۱۴۰۰).

بیش از ۹۰ درصد منابع آب ایران در بخش کشاورزی مصرف می‌شود و این مقدار ۲۲ درصد بیشتر از متوسط مصرف جهانی آب در بخش کشاورزی است و بر اساس آمار فائو راندمان آبیاری کشاورزی ایران که طبق اعلام وزارت جهاد کشاورزی ۴۰ درصد می‌باشد، از کشورهای مشابه خود از نظر اقلیمی، اقتصادی و اجتماعی از قبیل چین، هند، مصر، سوریه، ترکیه و حتی لیبی هم کمتر است که این شرایط بحران کم‌آبی را برای ایران رقم‌زده است (ظریفیان و همکاران، ۱۳۹۹). مدیریت آب آبیاری در محصولات درختی مستلزم تعیین به‌موقع و دقیق وضعیت آب محصول برای تصمیم‌گیری در مورد برنامه‌ریزی آبیاری است. درختان از سرمایه‌های بخش باغبانی محسوب می‌شوند. پرورش و به‌ثمر رساندن یک درخت برای میوه و یا برای چوب آن مستلزم سال‌ها مراقبت است، لذا از دیدگاه متخصصان حفظ این گونه‌های گیاهی در شرایط کم‌آبی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. برنامه‌ریزی دقیق آبیاری می‌تواند ضمن حفظ آب در محصولات درختی، عملکرد را افزایش دهد باین حال، برای اجرای آبیاری دقیق، روش‌های قابل‌اعتماد برای اندازه‌گیری نیاز آبی گیاه برای جلوگیری از تنش آبی بیش‌ازحد موردنیاز است (Wang et al., 2020).

تنش آبی در درختان باعث کاهش فتوسنتز شده که در نتیجه موجب کاهش تعرق گیاه می‌گردد. تنش شدید آب می‌تواند باعث بقای ضعیف، رشد محدود درختان و کاهش بهره‌وری شود. از علائم مهم تنش آبی درختان می‌توان به تغییر رنگ شاخ و برگ به سبز و زرد روشن، ریزش برگ‌ها و ریزش گل‌ها و میوه‌ها اشاره کرد (Alizadeh et al., 2021).

با ایجاد تنش آبی در درختان نرخ عبور جریان شیرهای از طریق بافت آوند تحت تأثیر قرار می‌گیرد. لذا تعیین میزان جریان شیرهای و یا اثرات غیرمستقیم آن می‌تواند در تشخیص وضعیت سلامت درخت و همچنین تنش آبی مفید باشد. یکی از اثرات تنش آبی در درختان کاهش تبخیر و تعرق است، در اثر این پاسخ گیاه به کم‌آبی، نرخ جریان شیرهای از درون بافت‌های آوندی گیاه کاهش یافته و یا متوقف می‌شود. بنابراین تعیین میزان جریان شیرهای درخت می‌تواند معرف و وضعیت

تنش آبی آن باشد. همچنین اندازه‌گیری نرخ جریان شیره‌ای مرتبط با سلامت و وضعیت فتوسنتز درخت نیز است، که اهمیت اندازه‌گیری این پارامتر را بیش از پیش نمایان می‌کند. روش‌های تعیین جریان شیره کاربردهای زیادی در کشاورزی، باغبانی، جنگل‌داری و اکولوژی دارد که با به دست آوردن نرخ جریان شیره می‌توان برای تشخیص بحران تنش آبی در درختان تصمیم گرفت (Smith & Allen, 1996).

روش‌هایی برای اندازه‌گیری تنش آبی بسته به انتخاب و وضعیت آب (از طریق پتانسیل آب، محتوای آب و جریان آب یا جریان تعرق) بافت گیاهی وجود دارد. در ادامه برخی از کاربردی‌ترین روش‌های اندازه‌گیری جریان شیره‌ای معرفی و بررسی می‌شود.

### روش‌های مستقیم برای تعیین وضعیت نیاز آبی در درختان

- محفظه فشار، پتانسیل آب را کنترل می‌کند.
- اندازه‌گیری جریان شیره، جریان آب را درون بافت آوندی تخمین می‌زند.

### روش‌های غیرمستقیم برای تعیین وضعیت نیاز آبی در درختان:

- دندرومتر، اندازه‌گیری تغییرات قطر تنه یا شاخه درختان در اثر تغییرات میزان آب مصرفی.
- ترموگرافی، اندازه‌گیری تغییرات دمای برگ گیاهان (Alizadeh et al., 2021).

### محفظه فشار

اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ، مورداستفاده در مطالعات آبیاری و زراعت و باغبانی است. پتانسیل آب در یک محیط مانند اندام‌های گیاهی، انرژی آب در آن محیط را نشان می‌دهد. هر اندازه پتانسیل (انرژی) سلول‌های گیاهی بیشتر باشد نشانگر آن است که گیاه برای انجام فتوسنتز و انتقال مواد بین اندام‌ها مشکلی ندارد، اما به دلیل تعرق آب از روزنه‌ها از یک سو و کاهش رطوبت خاک از سوی دیگر، پتانسیل آب سلول‌های گیاهی کاهش می‌یابد. کاهش پتانسیل آب از یک حد آستانه‌ای باعث به هم خوردن فعالیت‌های عمومی گیاه از جمله فتوسنتز می‌شود چراکه گیاه برای کاهش هدر رفت آب، روزنه‌های خود را می‌بندد. در نتیجه پتانسیل آب سلول‌های گیاهی و عموماً برگ شاخص مناسب و دقیقی از وضعیت آب گیاه می‌باشد که با پایش آن می‌توان به تنش‌های احتمالی گیاه پی برد. ابزاری که می‌توان به کمک آن پتانسیل آب تقریبی بافت‌های گیاهی را اندازه‌گیری کرد محفظه فشار نامیده می‌شود. یک بخش برگ، دم برگ یا ساقه در داخل یک محفظه قرار می‌گیرد. گاز تحت فشار به آرامی به محفظه اضافه می‌شود. با افزایش فشار در نقطه‌ای، محتویات مایع نمونه با فشار از آوند چوبی خارج شده و از انتهای ساقه یا دم برگ بریده شده قابل مشاهده است. فشاری که برای انجام این کار لازم است برابر و مخالف پتانسیل آب نمونه است (شکل ۱) (Pérez-Harguindeguy et al., 2016).

مک کاجان و شاکل با بررسی پتانسیل آب ساقه در درختان آلو و مقایسه آن با پتانسیل برگ، آن را به عنوان یک شاخص خوب برای حساسیت تنش آبی معرفی کردند. آن‌ها با اندازه‌گیری پتانسیل برگ و ساقه با استفاده از کمبود فشار بخار در دو حالت رشد درختان با آبیاری منظم و استفاده از رطوبت خاک، نتیجه گرفتند پتانسیل آب ساقه نسبت به پتانسیل برگ

<sup>1</sup> Persser chamber

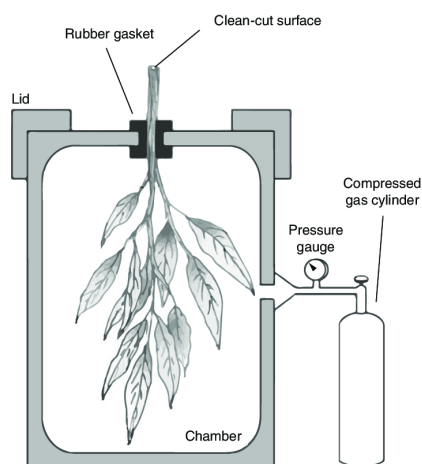
<sup>2</sup> Sap flow

<sup>3</sup> Dendrometer

<sup>4</sup> Thermography

<sup>5</sup> Vapour pressure deficit

تغییرپذیری کمتری دارد و پتانسیل ساقه می تواند اثر کوچک تنش های آبی را نشان دهد. تغییرات روزانه در پتانسیل ساقه ارتباط نزدیکی با تغییرات روزانه نیازهای تبخیری داشت (McCutchan & Shackel, 1992).



شکل ۱- ساختار یک محفظه فشار (Pérez-Harguindeguy et al., 2016)

### جریان شیرهای

عبور آب و مواد مغذی از بافت آوندی چوب گیاه را جریان شیره گویند. سلامت گیاه و همچنین میزان فتوسنتز آن در ارتباط مستقیم با میزان تبخیر و تعرق می باشد، تبخیر و تعرق نیز مستلزم انتقال آب از طریق جریان شیره ای از سمت ریشه گیاه به سمت برگ ها است. روش های تعیین جریان شیره کاربردهای زیادی در کشاورزی، باغبانی، جنگل داری و اکولوژی دارد که با به دست آوردن نرخ جریان شیره می توان برای تشخیص بحران تنش آبی در درختان تصمیم گرفت (Smith & Allen, 1996).

یکی از روش های به دست آوردن جریان شیره ای روش نسبت گرمایی می باشد.

### روش نسبت گرمایی (HRM)<sup>۲</sup>

روش نسبت گرمایی می تواند هم سرعت شیره و هم جریان حجمی آب را در بافت آوند چوبی با استفاده از یک پالس کوتاه گرما به عنوان ردیاب اندازه گیری کند. با اندازه گیری نسبت گرمای منتقل شده بین دو حسگر دما که به طور متقارن قرار گرفته اند (شکل ۲)، می توان مقدار و جهت شار آب را از رابطه ۱ محاسبه کرد (Amaral et al., 2021).

$$v_h = \frac{k}{x} \ln \left( \frac{v_1}{v_2} \right) 3600 \quad (1)$$

که در آن:

$k$  ضریب انتشار حرارتی چوب ( $cm^2/s$ )،  $x$  فاصله بین هیتر و هریک از پروب دما ( $cm$ )،  $v_1$  و  $v_2$  افزایش دما (از دمای اولیه) در نقاط مساوی پایین دست و بالادست به ترتیب  $x$  سانتی متر از هیتر ( $C$ )،  $v_h$  سرعت پالس ( $cm/h$ )، نصب حسگرها در بافت آوند چوبی باعث آسیب مکانیکی قابل توجهی به درخت می شود. علاوه بر قطع شدن مسیرهای جریان با وارد کردن پروب ها، آوندهای دست نخورده ممکن است مسدود شوند زیرا گیاه با تشکیل تایلوزها<sup>۳</sup> به زخم پاسخ

<sup>1</sup> Sap wood

<sup>2</sup> Heat ratio method (HRM)

<sup>3</sup> Tyloses

می‌دهد. ناحیه حاصل از چوب نارسا در اطراف محل درج پروب بر اندازه‌گیری  $v_h$  با کاهش  $\frac{v_1}{v_2}$  تأثیر می‌گذارد و می‌توان برای اصلاح آن از رابطه ۲ استفاده نمود.

$$v_c = bv_h + cv_h^2 + dv_h^3 \quad (2)$$

b, c, و d ضرایبی هستند که از جدول ۱ به دست می‌آید.

جدول ۱- ضرایب تصحیح برای اثر تایلوزها (Antezana-Vera & Marengo, 2022)

Wound(cm)	B	c	D	r <sup>2</sup>	B	r <sup>2</sup>
0.17	1.6821	-0.0015	0.0002	1.0000	1.7283	0.9993
0.18	1.7304	-0.0013	0.0002	1.0000	1.7853	0.9992
0.19	1.7961	-0.0016	0.0002	1.0000	1.8568	0.9991
0.20	1.8558	-0.0018	0.0003	1.0000	1.9216	0.9990
0.21	1.9181	-0.0021	0.0003	1.0000	1.9891	0.9989
0.22	1.9831	-0.0024	0.0004	1.0000	2.0594	0.9988
0.23	2.0509	-0.0028	0.0004	1.0000	2.1326	0.9987
0.24	2.0973	-0.0030	0.0005	1.0000	2.1825	0.9987
0.26	2.2231	-0.0037	0.0006	1.0000	2.3176	0.9985
0.28	2.3760	-0.0046	0.0008	1.0000	2.4813	0.9983
0.28	2.5232	-0.0055	0.0010	1.0000	2.6383	0.9982

سرعت شیره را با اندازه‌گیری بخش‌های شیره و چوب در آوند چوبی و محاسبه چگالی‌های متفاوت و ظرفیت‌های حرارتی ویژه آن‌ها بر اساس رابطه ۳ تعیین می‌گردد.

$$v_s = \frac{v_c \rho_b (c_w + m_c c_s)}{\rho_s c_s} \quad (3)$$

که در آن:

$\rho_b$  چگالی پایه چوب،  $c_w$  و  $c_s$  ظرفیت گرمایی ویژه ماتریس چوب ( $20 \square$  at  $1200 \text{ J/kg}$ ) و شیره ( $20 \square$  at  $4182 \text{ J/kg}$ )،  $m_c$  محتوای آب چوب،  $\rho_s$  چگالی آب و  $v_s$  سرعت جریان شیره ( $\text{cm/h}$ ). جریان حجمی ( $Q$ ) را به راحتی به عنوان حاصل ضرب سرعت شیره ( $v_s$ ) و سطح مقطع رسانای بافت شیره چوب ( $A$ ) از رابطه ۴ به دست می‌آید.

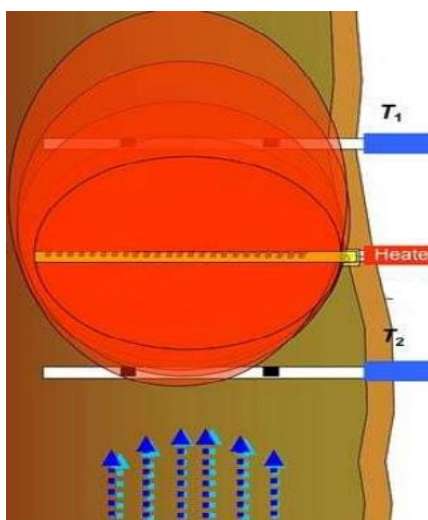
$$Q = A v_s \quad (4)$$

که در آن:

$Q$  جریان حجمی ( $\text{cm}^3/\text{h}$ )،  $A$  سطح مقطع رسانای بافت شیره‌ای چوب و  $v_s$  سرعت شیره ( $\text{cm/h}$ ) (Antezana-Vera & Marengo, 2022).

سان وهمکاران با اندازه‌گیری جریان شیره‌ای توسط جریان‌سنج‌های شیره‌ای آب مورد نیاز سه گونه درخت بومی استرالیا را ارزیابی کردند. در این پژوهش از حسگرهای جریان شیره‌ای که بر اساس روش نسبت حرارتی عمل می‌کند برای ارزیابی عملکرد جریان شیره سه گونه درخت مختلف واقع در حومه شرقی ملبورن استرالیا در یک دوره ۱۲ ماهه استفاده شد. مقایسه

حجم جریان شیره برای سه گونه به وضوح نشان داد که تقاضای آب، گونه کوریمبیا ماکولاتا در مقایسه با ملالوکا استیفلیونید<sup>۲</sup> ولوفستمون بالاترین میزان بوده و حجم جریان روزانه شیره در سمت شمالی ۶۳ درصد بیشتر از ضلع جنوبی است (Sun et al., 2021).



شکل ۲- شماتیک روش نسبت گرمایی (Antezana-Vera & Marengo, 2022)

## دندرومتر

الگوهای روزانه در مصرف آب باعث کوچک شدن و یا تورم اجزای گیاهان در طول ۲۴ ساعت می شود. همان طور که گیاهان تعرق می کنند، آب از ذخایر در بافت گیاه جمع آوری شده و از طریق بافت آوندی به برگ ها منتقل می شود. با این اتفاق، تنه یا ساقه منقبض می شود. هنگامی که تعرق کاهش می یابد یا متوقف می شود، آب همچنان از طریق سیستم ریشه وارد گیاه می شود (به شرطی که آب کافی در دسترس باشد) و با توزیع مجدد گیاه باعث تورم بافت می شود. دندرومترها ریز تغییرات فیزیکی قطر ساقه را اندازه گیری می کنند که نشان دهنده تغییرات در محتوای آب گیاه است (شکل ۳). دندرومترها دستگاه های اندازه گیری نواری یا نقطه ای هستند. نوارهایی در اطراف محیط درخت پیچیده شده اند که انبساط و انقباض را از طریق حسگرهای بسیار دقیق موقعیت سنج تشخیص می دهند. دستگاه های نقطه ای تغییرات مکان یک نقطه را روی سطح تنه اندازه می گیرند. یک میله برای پایداری در مرکز تنه سوراخ می شود و میله دوم برای اندازه گیری در مقابل پوست قرار می گیرد و به میزان جریان شیره ای که از ساقه عبور می کند دندرومتر تغییرات را ثبت می کند. حداکثر انقباض روزانه (MDS) و سرعت رشد ساقه (SGR) شتداول ترین معیارهایی هستند که در زمان برای تفسیر داده های دندرومتر می شوند. MDS میزان انقباض و انبساط ساقه را در یک چرخه ۲۴ ساعته اندازه گیری می کند. گیاهی که تحت تنش نباشد، MDS کمتری نسبت به گیاهی دارد که تحت تنش است. نمودارهای MDS میزان رطوبت از دست رفته (تعرق) و میزان بازیابی (از آب موجود در ناحیه ریشه) را اندازه گیری می کند همچنین SGR میزان رشد ساقه را از طریق چرخه انقباض و انبساط (۲۴ ساعت)

<sup>1</sup> *Corymbia maculate*

<sup>2</sup> *stypelioides*

<sup>3</sup> *Lophostemo*

<sup>4</sup> Maximum daily shrinkage(MDS)

<sup>5</sup> Stem growth rate(SGR)

اندازه گیری می کند. در طول دوره های رشد فعال و زمانی که آب کافی برای پاسخگویی به تقاضا وجود دارد، SGR مثبت خواهد بود (Fernández & Cuevas, 2010).

کواچووا و همکاران تاثیر فیزیولوژیکی تنش آبی در گل آفتابگردان و ذرت با تغییرات دندروولوژیکی درخت را بررسی کردند. در این پروژه دندرومترهای اتوماتیک نصب و اثر دو دوز آبیاری ۵ میلی متر در هر روز و ۵ میلی متر در فاصله ۳ روزه بر رشد آفتابگردان و ذرت در شرایط آزمایشگاهی بررسی کردند. مقایسه آفتابگردان و ذرت آبیاری شده در فواصل مختلف نشان داد که قطر ساقه ها در آبیاری یک روزه در مقایسه با ۳ روز به میزان ۰/۸ میلی متر (آفتابگردان) و ۱۲ میلی متر (ذرت) افزایش یافته است و نتیجه گرفتند که در طول آبیاری ۳ روزه چروکیدگی بیشتر ساقه ها رخ داده که نشان دهنده شروع تنش آبی برای محصولات زراعی است (Kováčová et al., 2020).



شکل ۳- نمونه ای از دندرومتر (Just & Frank, 2019)

### ترموگرافی

با کمبود آب در ناحیه ریشه، گیاه برای از دست ندادن رطوبت از طریق تعرق، روزه های خود را می بندد. این کار از اتلاف انرژی ورودی به برگ از طریق تابش خورشیدی جلوگیری می کند. اتلاف نشدن انرژی از طریق تعرق باعث افزایش دمای برگ خواهد شد. بنابراین دمای برگ یا کانوپی شاخصی از وضعیت آبی گیاه خواهد بود (Jones et al., 2009). اندازه گیری غیرمستقیم دمای کانوپی گیاه به دو صورت انجام می شود: ۱. تصویربرداری (دوربین های ترموگرافی) و ۲. ترمومتری. به وسایلی که تصویر حرارتی ارائه می کنند، دوربین ترموگرافی گفته می شود. برای برگ بیلان انرژی از رابطه ۲ بیان می شود:

$$H + ER_n = \quad (2)$$

که در آن:

$R_n$  میزان تشعشعات خالص ( $w/m^2$ )،  $H$  شار گرمایی محسوس ( $w/m^2$ )،  $E$  شار گرمایی نهان ( $w/m^2$ ) است.  $H$  انتقال گرما به صورت همرفت از سطح برگ به محیط پیرامون است که تابع باد، دمای هوا و دمای برگ است.  $R$  به تعرق گیاه مربوط است و تابع فشار بخار هوا می باشد. بهترین روش در ارزیابی تنش رطوبتی شاخص تنش آبی گیاه (CWSI)<sup>۱</sup>

<sup>1</sup> crop water stress index (CWSI)



است. این شاخص بر مقایسه دمای گیاه با دو دمای فرضی گیاه پتانسیل و گیاه خشک است. گیاه پتانسیل، همان گیاه موردنظری است که در شرایطی با بیشینه خود تعرق می کند که این گیاه هیچ گونه تنش رطوبتی ندارد. گیاه خشک گیاهی است که نرخ تعرق آن صفر است. این شاخص از رابطه ۳ محاسبه می گردد.

$$CWSI = \frac{t_c - t_{wet}}{t_{dry} - t_{wet}} \quad (3)$$

که در آن:

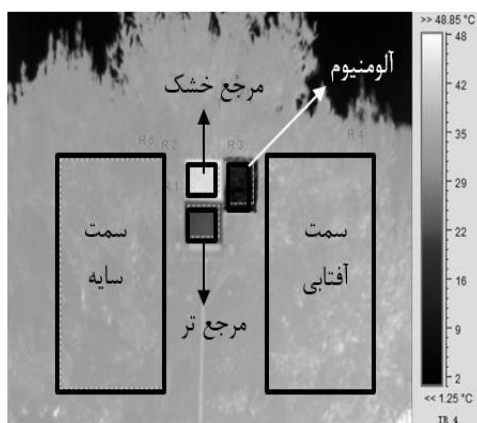
$t_c$  دمای کانوپی،  $t_{wet}$  دمای مرجع تر و  $t_{dry}$  دمای مرجع خشک است که همه بر واحد سانتی گراد یا فارنهایت می باشند.

دوربین ترموگرافی مقابل گیاه قرار می گیرد، به منظور بازسازی شرایط گیاه پتانسیل و خشک، مراجع تر و خشک و همچنین یک قطعه آلومینیوم چروکیده برای محاسبه تابش پس زمینه به خاطر به دست آوردن هرچه دقیق تر دمای کانوپی در نزدیکی درخت قرار می گیرد. دمای سطح کانوپی از رابطه ۴ محاسبه می گردد.

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

که در آن:

$T_c$  دمای اصلاح شده کانوپی،  $T_{br}$  دمای تابشی کانوپی خارج شده از تصویر ترموگرافی،  $T_{bg}$  دمای پس زمینه به دست آمده از قطعه آلومینیوم چروکیده و  $\varepsilon$  نیز ضریب گسیلندگی است. برای به دست آوردن شاخص تنش آبی گیاه با توجه از رابطه ۳ به سه دمای کانوپی، مرجع تر و مرجع خشک نیاز است که این دماها را می توان از تصویر ترموگرافی گرفته شده مانند شکل ۳ شده استخراج کرد (شعاع و همکاران، ۱۳۹۴).



شکل ۳- نمونه عکس ترموگرافی گرفته شده و استخراج دماهای گوناگون از تصویر حرارتی (شعاع و همکاران، ۱۳۹۴)

### نتیجه گیری

معایب روش محفظه فشار این است که نیاز به کالیبراسیون منحصربه فردی دارد، کار فشرده بوده و این روش به صورت نقطه ای در سطح باغ انجام می گردد که مسلماً با افزایش درختان باعث افزایش نمونه های انتخابی و نهایتاً افزایش هزینه و زمان لازم جهت انجام اندازه گیری ها و محاسبات خواهد شد (برومند نسب و همکاران، ۱۳۸۷). از جمله مزایای جریان سنج شیره این است که می تواند برای اندازه گیری مداوم وضعیت مصرف آب درخت استفاده شود، اندازه گیری منظم جریان



شیره‌ای می‌تواند در خصوص تصمیم‌گیری در مورد میزان تبخیر و تعرق و فتو سنتز مفید باشد ولی از جمله معایب این روش مخرب بودن آن است (Alizadeh et al., 2021). از معایب دندرومتر گران بودن آن است ولی از مزیت‌های آن می‌توان گفت که نسبت سیگنال به نویز بالاتری نسبت به سایر دستگاه‌ها و تکنیک‌ها دارد (Alizadeh et al., 2021). با توجه به معایب و مزیت‌های گفته شده روش جریان شیره‌ای نیاز به اصلاح و بهبود دارد تا به روش غیر مخرب تبدیل شود. در روش دندرومتر نگهداری از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است زیرا این دستگاه دارای سنسورهای حساسی می‌باشد و کوچکترین حرکت و لرزش موجب بروز خطا در نتایج می‌شود.

## مراجع

- باقری، ر.، شیاری، ع.، احدی، پ. و اسمعیل‌زاد، ع. (۱۴۰۰). حکمرانی و سیاست‌گذاری در قبال بحران منابع آب در جمهوری اسلامی ایران. پژوهش‌های روابط بین‌الملل، ۴۰(۱۱)، ۲۴۹-۲۷۰.
- برومند نسب، س.، طاهری قناد، س. و معیری، م. (۱۳۸۷). بررسی روش‌های مختلف کمی کردن تنش آبی گیاهان و کاربرد آن در برنامه ریزی آبیاری. دومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی.
- جعفری، ز.، متین‌خواه، س. و ابراهیمی، ک. (۱۳۹۸). بررسی شاخص‌های فیزیولوژیک برخی درختان مقاوم به خشکی در شرایط طبیعی. مدیریت بیابان، ۷(۱۴)، ۱۰۷-۱۱۸.
- ظریفیان، ش.، رستمی، ج. و پیش‌بهار، ا. (۱۳۹۸). عوامل موثر بر بکارگیری سیستم‌های نوین آبیاری در توسعه کشاورزی پایدار (مطالعه موردی: شهرستان بستان آباد، استان آذربایجان شرقی). نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار، ۳۰(۳)، ۲۱۷-۲۲۹.
- شعاع، پ.، همت، ع.، امیرفتاحی، ر.، و قیصری، م. (۱۳۹۴). پایش وضعیت آبی درختان زیتون به روش تصویربرداری حرارتی. مهندسی بیوسیستم ایران، ۴۶(۴)، ۳۳۹-۳۴۵.
- Alizadeh, A., Toudeshki, A., Ehsani, R., Migliaccio, K., & Wang, D. (2021). Detecting tree water stress using a trunk relative water content measurement sensor. *Smart Agricultural Technology*, 1, 100003.
- Amaral, A. M., Soares, F. A. L., Vellame, L. M., & Teixeira, M. B. (2021). Uncertainty in sap flow of Brazilian mahogany determined by the heat ratio method. *Journal of Forestry Research*, 32(4), 1457-1466.
- Antezana-Vera, S. A., & Marengo, R. A. (2022). Transpiration of *Swartzia tomentifera* in response to microclimatic variability in the central Amazon: the net effect of vapor pressure deficit. *CERNE*, 27.
- Fernández, J. E., & Cuevas, M. V. (2010). Irrigation scheduling from stem diameter variations: A review. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(2), 135-151.
- Jones, H. G., Serraj, R., Loveys, B. R., Xiong, L., Wheaton, A., & Price, A. H. (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*, 36(11), 978-989.
- Jury, W. A., & Vaux Jr, H. J. (2007). The emerging global water crisis: managing scarcity and conflict between water users. *Advances in Agronomy*, 95, 1-76.
- Just, M. G., & Frank, S. D. (2019). Evaluation of an Easy-to-Install, Low-Cost Dendrometer Band for Citizen-Science Tree Research. *Journal of Forestry*, 117(4), 317-322.
- Kováčová, M., Bárek, V., & Kišš, V. (2020). DENDROMETRIC CHANGES AS WATER STRESS INDICATOR FOR SUNFLOWER (*HELIANTHUS ANNUUS* L.) AND MAIZE (*ZEA MAYS* L.)—BASIC RESEARCH IN LABORATORY CONDITIONS. *Acta Sci. Pol. Form. Circumiectus*, 19, 77-85.
- McCutchan, H., & Shackel, K. A. (1992). Stem-water potential as a sensitive indicator of water stress in prune trees (*Prunus domestica* L. cv. French). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 117(4), 607-611.
- Pérez-Harguindeguy, N., Diaz, S., Garnier, E., Lavorel, S., Poorter, H., Jaureguiberry, P., Bret-Harte, M., Cornwell, W., Craine, J., Gurvich, D., Urcelay, C., Veneklaas, E., Reich, P., Poorter, L., Wright, I., Ray, P., Enrico, L., Pausas, J., Vos, A., & Cornelissen, J. (2016). Corrigendum to: New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany*, 64, 715.
- Smith, D. M., & Allen, S. J. (1996). Measurement of sap flow in plant stems. *Journal of Experimental*

*Botany*, 47(12), 1833–1844.

Sun, X., Li, J., Cameron, D., & Moore, G. (2021). On the Use of Sap Flow Measurements to Assess the Water Requirements of Three Australian Native Tree Species. *Agronomy*, 12(1), 52.

Wang, D., Zhang, H., & Gartung, J. (2020). Long-term productivity of early season peach trees under different irrigation methods and postharvest deficit irrigation. *Agricultural Water Management*, 230, 105940.

## **Investigating the electro-physical methods of determining water stress and sap flow in the vascular tissue of trees**

Majid Teymourzadeh<sup>1</sup>, Jalal Baradaran Motie<sup>2\*</sup>, Abbas Rohani<sup>3</sup>, Yahya Selahvarzi<sup>4</sup>

<sup>1</sup>. MS.c. student of Biosystems Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

<sup>2</sup>. Assistant prof., Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

<sup>3</sup>. Associate prof., Department of Biosystems Engineering, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

<sup>4</sup>. Assistant prof., Department of Horticultural Science, Ferdowsi University, Mashhad, Iran

### **Abstract**

Irrigation management in trees requires timely and accurate determination of the crop's water needs to make decisions about irrigation planning. Among the different methods, the methods that rely on plant-based water stress indicators have been more noticed. Measuring stem water content, canopy temperature, sap flow, and stem diameter change among the physical characteristics of trees that are affected by changes in water demand is useful not only for research purposes, but also for precise irrigation planning in commercial orchards. In this article, besides introducing the methods of the pressure chamber, sap flow, dendrometer, and thermography, these methods have been investigated and compared. Among these methods, the sap flow method, in addition to the early detection of water stress and the health status of the tree, can be used to continuously and automatically record the data related to the sap flow. In the sap flow section, the thermal ratio method was investigated that instead of using continuous heating, short heat pulses are applied and the mass flow of sap is determined by calculating the speed of movement of thermal pulses along the tree trunk.

**Keywords:** Water stress, Sap flow, Pressure chamber, Dendrometer, Thermography

\*Corresponding author

E-mail: [j.baradaran@um.ac.ir](mailto:j.baradaran@um.ac.ir)