علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۰، شماره‌ی٤، زمستان ۹٦، ص. ۹۰-۷۷

رابطه بین رطوبت غلاف برگ گیاه نیشکر و شاخص تنش آبی با استفاده از دماسنج مادون قرمز

شادمان ویسی[۱]، عبدعلی ناصری [۲*] و سعید حمزه [۳]

۱- دکتری آبیاری و زهکشی ، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲*- نویسنده مسئول، استاد گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. abdalinaseri@yahoo.com

۳- استادیار گروه سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۱۰ تاریخ پذیرش:۹۵/۳/۳۰

چکیده

از عوامل مهمی که باعث کاهش عملکرد گیاه نیشکر می‌شود می‌توان به تنش آبی کوتاه مدت وارده به آن در بازه دو آبیاری متوالی اشاره کرد. بنابراین مطالعه و پایش عواملی تعیین‌کننده وضعیت آبی گیاه نیشکر (دمای پوشش گیاهی، رطوبت خاک، رطوبت گیاه) در زمین‌های تحت کشت این گیاه به‌منظور برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و تعیین زمان و میزان مناسب مصرف آب امری ضروری است. این تحقیق در سال زراعی ۹۳-۹٤ در اراضی کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی در ماه‌های خرداد الی شهریور بر روی واریته CP69-1062 در سنین مختلف (کشت، بازرویی اول، دوم و سوم) انجام شد. به‌منظور محاسبه شاخص تنش آبی (CWSI) به روش ایدسو با استفاده از دماسنج مادون قرمز دمای سطح سایه انداز گیاه در سه جهت اندازه‌گیری شد. در گام بعدی تحقیق درصد رطوبت غلاف برگ در همان نقاط برداشت دمای سطح سایه‌انداز گیاه، اندازه‌گیری و هم‌بستگی آن با شاخص تنش مورد بررسی قرار گرفت. رابطه رگرسیونی بین شاخص تنش آبی و رطوبت غلاف برگ در روزهای مشخص از دوره رشد (خرداد تا شهریور ماه) و همچنین برای کل دوره رشد به‌دست آمد. هر بار هشت مزرعه از یک سن مورد پایش قرار گرفت، به‌طوریکه هر مزرعه دو بار پایش شد (جمعا ۳۲ مزرعه). با یک دور از برداشت‌ها در سنین مختلف اقدام به واسنجی رابطه تنش و رطوبت غلاف برگ و در دور دوم برداشت‌ها نسبت به صحت-سنجی آن اقدام شد. نتایج نشان داد تنش مشاهداتی و تنش واسنجی شده، حداقل مجذور مربعات خطای آن ۰/۱۵ است و تنها عامل متغیر که دوره رشد بود، در مقادیر هم‌بستگی بین داده های مشاهداتی و محاسباتی تاثیرگذار نبوده است. با افزایش سن گیاه هم‌بستگی بین شاخص تنش و رطوبت غلاف برگ کاهش یافت. در این تحقیق معادله خط مبنای پایین در روزهای مشخصی از فصل رشد به‌دست آمد. از آن جایی که روند تغییرات در تمام فصل رشد برای تمام سنین یکسان بود، معادله کلی خط مبنای پایین تنش گیاه نیشکر $T_c - T_a = 0.14VPD + 2.28$ با ضریب هم‌بستگی ۸۷ درصد محاسبه شد. همچنین معادله خط مبنای بالا که به‌صورت یک خط افقی است در بازه ۳ تا ٤ درجه سانتی‌گراد در نوسان بود. نتایج نشان داد که مقدار بهینه شاخص تنش آبی برای شروع آبیاری این گیاه به منظور ارائه برنامه آبیاری واحد در تمام سنین مقدار ۰/۵ است، چرا که در این مقدار تنش و بالاتر از آن، رطوبت غلاف برگ از حد مجاز رطوبت غلاف برگ تعریف شده برای نیشکر که گیاه به آن تنش آبی وارد نشود، نزول پیدا می‌کند.

کلید واژه ها: تنش آبی، کشت و صنعت سلمان فارسی، دماسنج مادون قرمز، رطوبت غلاف برگ، نیشکر

مقدمه

به کلیه عملیاتی که طی آن مشخص شود چه موقع و چه مقدار آب به زمین داده شود برنامه آبیاری گویند. با برنامه‌ریزی آبیاری می توان سطوح راهبردی آبیاری را نیز طراحی کرد. که آیا آبیاری به صورت کامل صورت پذیرد که به آن پر آبیاری هم گفته می‌شود و یا این که کم آبیاری انجام شود. روش‌های مختلفی وجود دارد که براساس آنها زارع می‌تواند زمان آبیاری را مشخص کند (علیزاده، ۱۳۸۳). استفاده از دمای پوشش سبز گیاه جهت برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان یکی از روش‌هایی است که در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. شاخص تنش آبی گیاه[1] که از ترسیم اختلاف دمای پوشش گیاهی با دمای هوا در ارتباط با کمبود فشار بخار اشباع هوا به‌دست می‌آید، روش مطمئنی جهت تعیین زمان آبیاری است. اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه سنجشی مستقیم از گیـاه برای بررسی و مشاهده پاسخ گیـاه به وضعیت آب درخاک و به عنوان عاملی مناسب برای برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان است (موران[2]، ۱۹۹۴). استفاده از درجه حرارت برگ به منظور محاسبه تنش آبی در گیاهان بر پایه این فرض استوار است که فرایند تعرق دمای سطح برگ‌ها را پایین‌تر از دمای هوای اطراف نگه می‌دارد

1- Crop Water Stress Index (CWSI)
2- Moran

(جکسون[1]،۱۹۸۲). همزمان با کاهش آب درون گیاه، تعرق نیز کاهش یافته و دمای برگ افزایش می‌یابد. اگر تعرق هنگامی انجام گردد که مقدار آب گیاه پایین است، دمای سطح برگ‌ها به دلیل جذب تابش خورشیدی گرم‌تر از هوای اطراف خواهد بود. به عبارت دیگر، از دیدگاه تعادل انرژی با کاهش تعرق گیاه، شدت گرمای محسوس افزایش یافته و سهم بیشتری از انرژی خالص دریافتی صرف بالا رفتن درجه حرارت محیط و اندام‌های گیاهی خواهد شد. عامل مهمی که تنش آبی گیاه و در نهایت میزان عملکرد به‌آن وابستگی داشته و در برنامه‌ریزی آبیاری نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، زمان آبیاری است، یعنی به هنگام شروع آبیاری، تنش آبی گیاه که تحت تأثیر توأم رطوبت خاک و شرایط جوی است نباید از حد مجاز تجاوز نماید (سپاسخواه و همکاران[2]، ۱۹۸۷). کرتیس[3] (۱۹۳۸) رابطه تعرق و درجه حرارت برگ‌ها را مورد بررسی قرار داد. وی اظهار داشت که با کاهش درجه حرارت برگ نسبت به هوا نشان دهنده تعرق در روزهای گرم و آفتابی است. بعد از او نیز پژوهشگران زیادی نشان دادند که در شرایط وجود آب کافی و در روزهای گرم و آفتابی، مقدار درجه حرارت گیاهان کمتر از درجه حرارت هوا می‌باشد که از جمله آنها می‌توان به آساری و لومیس[4] (۱۹۵۹) و طاهری قناد (۱۳۸۱) اشاره کرد. ویگاند و نامکن[5] (۱۹۶۶) درجه حرارت برگ‌های کتان را با استفاده از دماسنج مادون قرمز مورد بررسی قرار دادند. آنها مشاهده کردند که درجه حرارت برگ‌های این گیاه به‌صورت خطی با کاهش آماس برگ‌ها افزایش می‌یابد. اندازه‌گیری توسط دماسنج مادون قرمز یک روش غیرمستقیم (بدون تماس) برای برآورد میزان درجه حرارت سطح مورد هدف می‌باشد. لذا اصولاً در هنگام اندازه‌گیری، دستگاه با سطح مورد نظر تماسی نداشته و درجه حرارت نشان داده شده مربوط به قسمتی از سطح است که در معرض دید دستگاه قرار دارد (هالیمورتا و همکاران[6]، ۲۰۰۳). ایدسو[7] (۱۹۸۲) در آزمایش‌های خود، برای گیاهان کاملاً آبیاری شده‌ای که از نظر تأمین آب از ناحیه ریشه هیچگونه محدودیتی ندارند، اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه با هوای مجاور $(T_c - T_a)$ و کمبود فشار بخار را در فاصله زمانی دو یا سه ساعت بعد از طلوع آفتاب الی دو یا سه ساعت بعد از ظهر به طور هم‌زمان اندازه‌گیری گردند، داده‌های به‌دست آمده بیان‌کننده وجود یک رابطه خطی بین این دو پارامتر می‌باشد. ایدسو (۱۹۸۲) ، معادله خط بی‌تنش را برای ۳۹ گونه مختلف گیاهی که شامل بوته‌ها، درختان و گیاهان آبزی می‌گردد تعیین نمود. فرمول ریاضی این خط به صورت زیر می‌باشد :

$$(T_c - T_a)_{l.l} = a - b(VPD) \qquad (۱)$$

$(T_c - T_a)_{l.l}$: خط مبنای پایین تنش، b و a: ضرایب رابطه خطی هستند، VPD: کمبود فشار بخار آب بر حسب میلی‌بار.

خط مبنای پایینی تنش یک خصوصیت ویژه هر گیاه بوده و معرف شرایطی است که در آن، گیاه از نظر تأمین آب از ناحیه ریشه با هیچ محدودیتی روبرو نبوده و میزان تبخیرپذیری هوا نیز در محدوده بیشینه مقدار خود می‌باشد. بنابراین شدت تعرق گیاه در این حالت برابر با شدت تعرق پتانسیل است. به عبارت دیگر خط مبنای پایینی، مکان هندسی کلیه نقاطی است که در آن نقاط، شرایط مساعد رطوبتی خاک، جوی و فیزیولوژیکی جهت وقوع تعرق پتانسیل فراهم می‌باشد. برومندنسب و همکاران (۱۳۸۳) نیز معادله خط مبنای پایینی تنش گیاه ذرت را برای دو ماه اردیبهشت و خرداد محاسبه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که هر چند شیب خطوط (b) در دو ماه اردیبهشت و خرداد به یکدیگر نزدیک است اما محل برخورد این دو خط با محور عمودی (a) متفاوت است. طبق نظر آنها این اختلاف به‌خاطر تعرق بیشتر در خرداد ماه است و به همین دلیل توصیه کردند که خط مبنای پایینی برای مراحل مختلف فصل رشد به‌صورت جداگانه ارائه شود. اما خط مبنای بالایی و یا خط تنش کامل معرف حداکثر مقداری است که می‌توان برای اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوای مجاور انتظار داشت، به طوری که وقتی به این حد افزایش یافت عمل تعرق به‌طور کامل متوقف خواهد شد. این خط مبنا مستقل از کمبود فشار بخار آب می‌باشد. بدین معنی که وقتی به حد بالایی ممکن خود افزایش پیدا نمود، عمل تعرق بدون توجه و وابستگی به مقدار (VPD) قطع می‌گردد. شکل ریاضی معادله خط مبنای بالایی به صورت زیر می‌باشد:

$$(T_c - T_a)_{u.l} = h \qquad (۲)$$

جکسون (۱۹۸۱) با مطالعه بر روی گیاه گندم مقدار ثابت h را برابر با پنج درجه سانتی‌گراد در نظر گرفت. عبدالجبار و همکاران[9] (۱۹۸۵) نیز برای گیاه یونجه این مقدار را برابر چهار درجه سانتی‌گراد بدست آوردند. در تحقیقی که توسط سپاسخواه و همکاران (۱۹۸۷) صورت گرفت، مقدار h برای گیاه چغندرقند برابر با شش به‌دست آمد. سپاسخواه و کاشفی‌پور (۱۹۹۴) نیز برای درخت لیمو شیرین مقدار پنج درجه پیشنهاد کردند. برومندنسب و همکاران (۱۳۸۳) نیز مقدار h را برای گیاه ذرت در دو ماه اردیبهشت و خرداد برابر با ۲ و ۴/۵ درجه

1- Jackson
2- Sepaskhah *et al.*
3- Curtis
4- Asari and Loomis
5- Wiegand and Namken
6- Halim Orta *et al.*
7- Idso
8- Vapor Pressure Deficit (VPD)
9- Abdul-Jabbar

سانتی‌گراد محاسبه کردند. بعد از تعیین خط مبنای بالا و پایین برای هر گیاه، شاخص تنش آبی را می‌توان طبق معادله زیر محاسبه کرد.

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a)_m - (T_c - T_a)_{l.l}}{(T_c - T_a)_{u.l} - (T_c - T_a)_{l.l}} \qquad (۳)$$

$CWSI$: شاخص تنش آبی گیاه، $(T_c - T_a)_{l.l}$: بر حسب درجه سانتیگراد، بیانگر خط مبنای پایین شاخص می‌باشد و برابر است با اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه با هوای مجاور در شرایط بدون تنش، $(T_c - T_a)_{u.l}$: خط مبنای بالایی و یا خط تنش کامل که معرف حداکثر مقداری است که می‌توان 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 که اندازه‌گیری صورت گرفته‌است. یوآن و همکاران[1] (۲۰۰۴) امکان استفاده از شاخص تنش آبی گیاه به دو روش ایدسو و جکسون را برای مشخص کردن تنش در گیاه گندم زمستانه در جلگه شمال چین ارزیابی کردند. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر آن بود که شاخص تنشی که بر پایه اصول تئوری جکسون بسط یافته است، بهتر از شاخص تنش آبی ایدسو میزان تنش آبی را در گیاه گندم زمستانه در منطقه شمال چین مشخص می‌کند. گونتیا و همکاران[2] (۲۰۰۸) برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از دماسنج مادون قرمز را برای گیاه گندم زمستانه در پنج سطح آبیاری مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که مقدار شاخص تنش آبی[3] نشانگر خوبی برای وضعیت آبی گیاه می‌باشد و می‌تواند برای برنامه‌ریزی آبیاری گندم زمستانه مورد استفاده قرار گیرد. لیبورجیوس و همکاران[4] (۲۰۱۰) طی تحقیقی بر روی گیاه نیشکر در جزیره ریونیون[5] در شرق ماداگاسکار[6] شاخص تنش آبی بهینه برای برنامه ریزی آبیاری را برابر ۰/۵ پیشنهاد کردند. کاندوگان و همکاران[7] (۲۰۱۳) پنج تیمار ۱۰۰، ۷۵، ۵۰ و۰ درصد نیاز آبی سویا با دور آبیاری هفت روز در بورسا ترکیه را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که از CWSI می‌توان برای تعیین زمان آبیاری سویا در آب و هوای مرطوب استفاده کرد. آن‌ها حد آستانه و مجاز CWSI را ۰/۲۲ تعیین کردند. آنها همچنین روابط آماری معنی‌داری بین CWSI و عملکرد دانه، عملکرد پروتeین، عملکرد روغن، بهره‌وری آب و تبخیر و تعرق به دست آوردند. پالتین آنو و همکاران[8] (۲۰۱۲) برای درخت هلو در کشور رومانی رابطه‌ی شاخص تنش آبی CWSI با رطوبت خاک ناحیه توسعه ریشه را مورد بررسی قرار دادند و یک رابطه خطی و معکوس بین این دو پارامتر تعیین کردند. همچنین مقدار شاخص تنش آبی ۰/۱۸ تا ۰/۲ را جهت برنامه‌ریزی آبیاری در خاک‌های با بافت سبک در آن منطقه پیشنهاد کردند. آکوزو و همکاران[9] (۲۰۱۳) با استفاده از شاخص تنش آبی (CWSI) برای درخت زیتون در ترکیه بهترین کارایی مصرف آب را تامین ۵۰ درصد نیاز آبی گیاه تعیین کردند که شاخص تنش معادل آن برابر ۰/۳۹ گردید. در اراضی کشت و صنعت به‌منظور بررسی وضعیت آبی نیشکر از نمایه گیاهی استفاده می‌شود که به آن عملیات کراپ لاگ[10] می‌گویند. این روش کراپ لاگ مبتنی بر اندازه‌گیری درصد رطوبت غلاف برگ نیشکر و مقایسه آن با درصد رطوبت مجاز است که لازمه آن اعزام گروه نمونه‌بردار به ایستگاه‌های تعیین شده در مزارع، نمونه‌گیری از غلاف برگ‌ها، انتقال آن‌ها به آزمایشگاه، قراردادن به مدت ۲۴ ساعت در آون با حرارت حدود ۸۵ درجه سانتیگراد و تعیین درصد رطوبت غلاف برگ با استفاده از اختلاف وزن تر و خشک نمونه‌ها و در نهایت مقایسه آن با درصد رطوبت مجاز برای آبیاری است. در این تحقیق سعی بر ارائه یک مدل است که بتواند رطوبت غلاف برگ این محصول را با شاخص تنش آبی ایدسو در منطقه جنوب اهواز و کشت و صنعت سلمان فارسی مرتبط نماید. هدف از این تحقیق، تعیین زمان آبیاری با استفاده از تفاوت دمای پوشش سبز و هوا در اراضی توسعه نیشکر و شرکت کشت و صنعت سلمان فارسی و در صورت تأیید، پیشنهاد جایگزین کردن این روش با روش موجود موسوم به کراپ لاگ که پرهزینه و وقت‌گیر است، می‌باشد. چرا که در صورت کارا بودن این روش می‌توان برنامه‌ریزی آبیاری را برای سطح وسیعی از اراضی با صرف وقت و هزینه کمتر انجام داد.

مواد روش‌ها

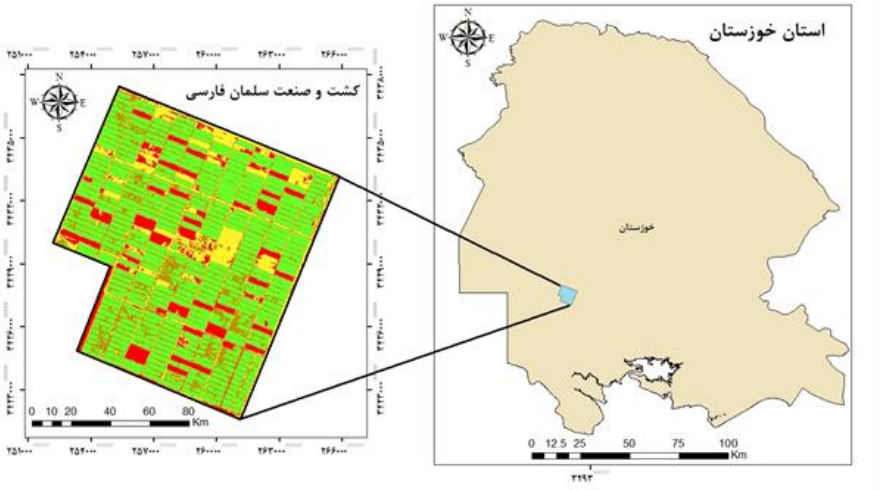
پژوهش حاضر در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ در مزارع کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی که یکی از واحدهای هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی در خوزستان است به اجرا در آمد. این کشت و صنعت همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است در ۴۵ کیلومتری جنوب شهرستان اهواز واقع شده است.

وسعت این کشت وصنعت در حدود۱۴۰۰۰ هکتار است که مساحت خالص اراضی آن ۱۲ هزار هکتار و مابقی کانال، جاده، ساختمان و کارخانه می‌باشد. که سالانه ۱۰۰۰۰ هکتار آن کشت می-شود و ۲۰۰۰ هکتار آن در حال آیش و کشت مجدد است.کشت و صنعت سلمان فارسی از شمال به کشت و صنعت نیشکر دعبل خزاعی و از شرق به جاده اهواز- آبادان محدود می‌شود و

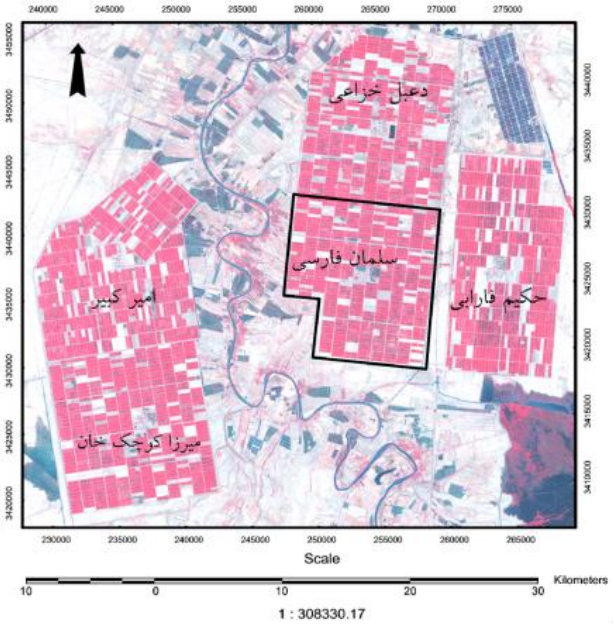
1- Yuan *et al.*
2- Gontia *et al.*
3- Crop Water Stress Index
4- Lebourgeois *et al.*
5- Reunion
6- Madagascar
7- Candogan *et al.*
8- Paltineanu *et al.*
9 - Akkuzu *et al.*
10- Crop logg

پیچانرودهای رودخانه کارون بزرگ از غرب و جنوب آن را در برگرفته‌اند. موقعیت کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی نسبت به طرح‌های توسعه منابع آب پیرامون آن در شکل (۲) نشان داده شده است.

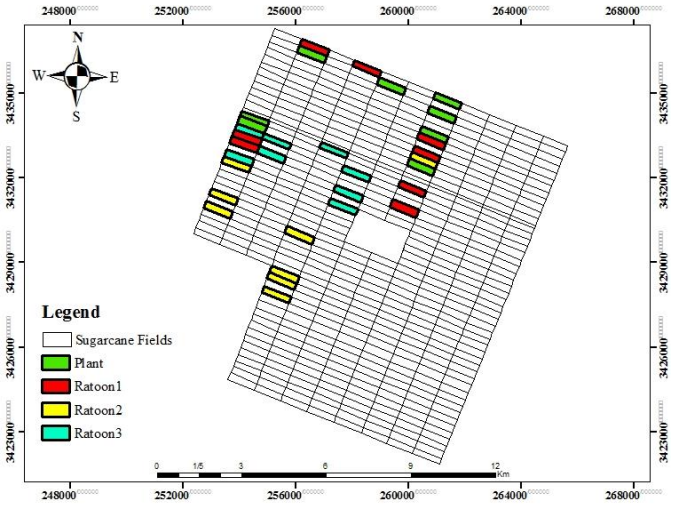
برای انجام این تحقیق ۳۲ مزرعه که دارای سن‌های متفاوتی بودند (کشت ، بازروئی اول، دوم و سوم) انتخاب شدند. مزارع انتخاب شده همگی از واریته CP69 بودندکه دارای بافت خاک یکسانی بودند که در تاریخ‌های نشان داده شده در جدول یک هر بار ۸ مزرعه که در روزهای مختلف آبیاری بودند (با توجه به دور آبیاری) و یک سن مشخص را داشتند به منظور استخراج خط بالا و پائین تنش مورد پایش قرار گرفتند شکل (۳). رطوبت غلاف برگ و دمای پوشش گیاهی در نقاط مشخص از مزارع برداشت شد. دمای نقاط مشخص شده هر یک ساعت یکبار از ساعت ۸:۴۵ الی ۱۳:۴۵ توسط دماسنج مادون قرمز به منظور استخراج خط مبنای پائین تنش قرائت شد. نمودار شماتیک مکان برداشت اطلاعات میدانی در شکل (۴) نشان داده شده است.



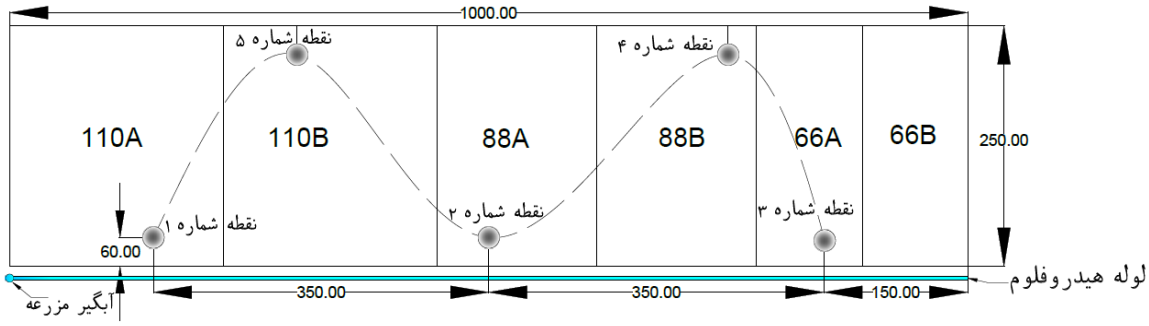
شکل۱- موقعیت کشت و صنعت سلمان فارسی در استان خوزستان



شکل۲- کشت و صنعت نیشکر سلمان فارسی نسبت به کشت و صنعت‌های اطراف



شکل۳- مزارع پایش شده کشت و صنعت سلمان فارسی در طول تحقیق



شکل٤- تصویر شماتیک قطعات آبیاری در مزارع نیشکر و نقاط برداشت اطلاعات میدانی

جدول۱- نحوه پایش مزارع انتخابی به منظور برداشت اطلاعات میدانی

تاریخ برداشت	سن مزارع برداشت اطلاعات	تعداد مزارع پایش شده	تعداد نقاط اندازه گیری	برداشت‌ها
۳ خرداد ۱۳۹۴	کشت	۸	۴۰	دور اول برداشت‌ها
۱۹ خرداد ۱۳۹۴	بازروئی اول	۸	۴۰	
۴ تیر ۱۳۹۴	بازروئی دوم	۸	۴۰	
۲۰ تیر ۱۳۹۴	بازروئی سوم	۸	۴۰	
۵ مرداد ۱۳۹۴	کشت	۸	۴۰	دور دوم برداشت‌ها
۲۱ مرداد ۱۳۹۴	بازروئی اول	۸	۴۰	
۶ شهریور ۱۳۹۴	بازروئی دوم	۸	۴۰	
۲۲ شهریور ۱۳۹۴	بازروئی سوم	۸	۴۰	

اندازه‌گیری میزان رطوبت غلاف برگ در هر مزرعه از ساعت ۸ الی ۹/۳۰ صبح هر روز در ۵ نقطه کراپ لاگی انجام و نمونه‌ها درون یک کیسه پلاستیکی قرار داده شده و ساعت نمونه‌برداری نیز یادداشت می‌شد. این عمل در سه تکرار انجام گرفت. ساقه های بریده شده نیشکر پس از قرار گرفتن در داخل یک کیسه پلاستیکی در بسته به آزمایشگاه منتقل و طبق روش مرسوم رطوبت غلاف برگ با استفاده از معادله شماره (۴) محاسبه شد.

$$VWC = \frac{FW - DW}{DW} \times 100 \qquad (۴)$$

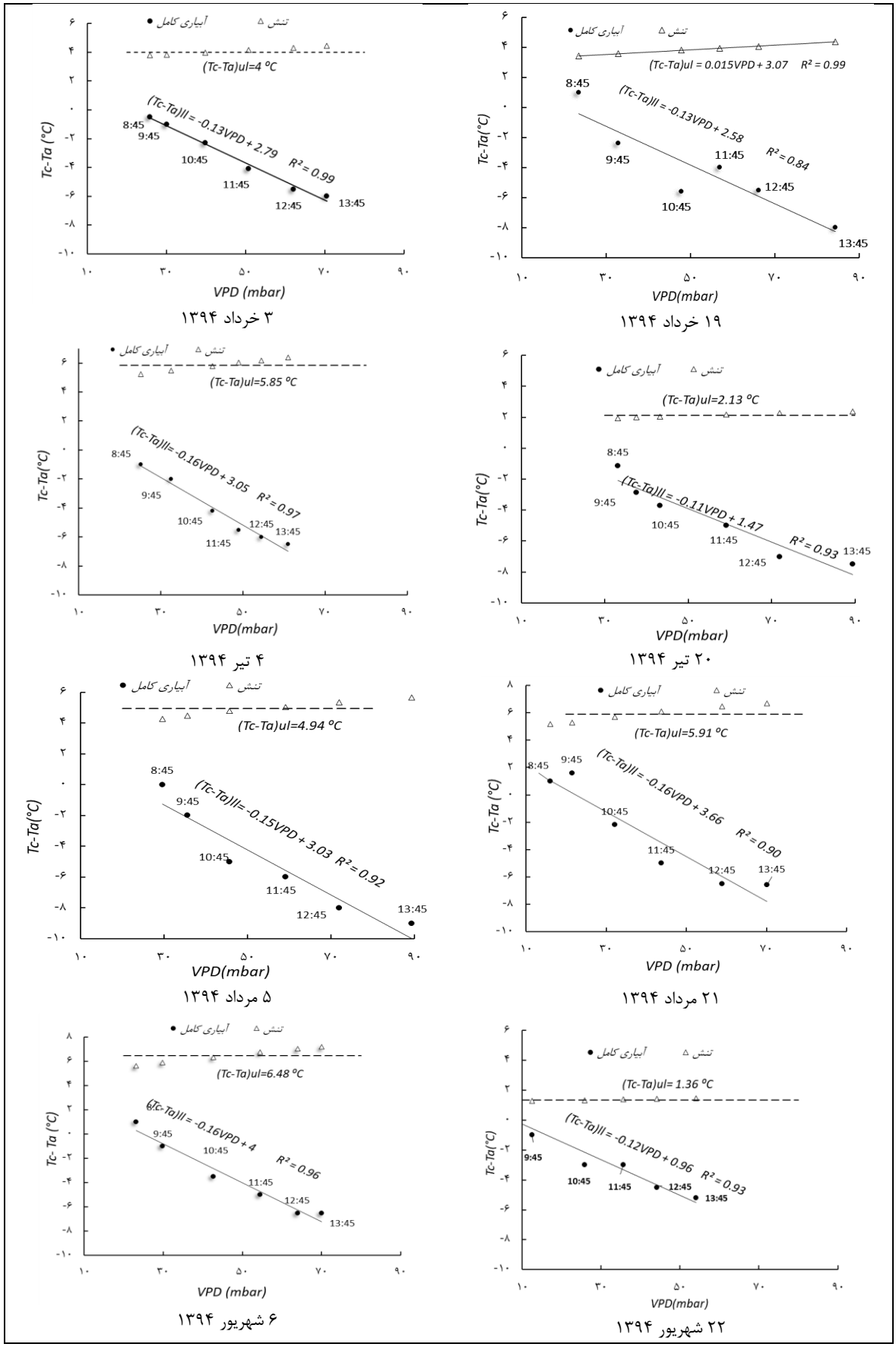
که در آن VWC درصد رطوبت گیاه، FW وزن تر گیاه وDW وزن خشک گیاه است. رطوبت غلاف برگ نیشکر در سه کلاس طبقه‌بندی می‌شود. بطوریکه اگر میزان رطوبت غلاف برگ نیشکر کمتر از ۷۵ درصد گردد گیاه علایم تنش آبی در آن ظاهر خواهد شد. با توجه به تقویم آبیاری کشت و صنعت‌های نیشکر در سال-های گذشته، بیشترین میزان آب مصرفی و از سویی خسارت‌های ناشی از تنش در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور اتفاق افتاده است (عزیزی، ۱۳۷۳). بنابراین در این تحقیق از ماه خرداد تا شهریور در تاریخ‌های مشخص تحقیق انجام شد. بر اساس استاندارد در بازه زمانی فوق، هر گاه رطوبت غلاف برگ نیشکر از ۷۵ درصد کمتر باشد گیاه دچار تنش می‌شود. همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است. به منظور اندازه‌گیری داده های آب، خاک و گیاه نمونه‌برداری با توجه به استاندارد FAO، پنج نقطه در هر مزرعه به شکل (W) انتخاب و با دستگاه مکان-یاب، مختصات نقاط برداشت اطلاعات ثبت گردید.

هر واحد زراعی نیشکر دارای مساحتی در حدود ۲۵ هکتار است، که ابعاد آن (۲۵۰×۱۰۰۰) متر است. آبیاری این مزارع توسط لوله-های هیدروفلوم که دریچه‌های با فاصله ۱۸۳ سانتیمتر در امتداد طول مزرعه بر روی آن تعبیه شده است، انجام می‌شود. هر ۲۲ دریچه از لوله هیدروفلوم مساحتی در حدود یک هکتار را آبیاری می‌کنند. دبی خروجی از هر دریچه هیدروفلوم در بازه ۲ تا ۲/۲ لیتر در ثانیه نوسان می‌کند. به هنگام آبیاری معمولا در ابتدای خط ارتفاع آب معادل فشار زیاد، از این رو هر ۱۱۰ دریچه که مساحتی نزدیک به پنج هکتار را پوشش می‌دهند، با هم باز می‌کنند و عمل آبیاری در حدود ۸ تا ۱۰ ساعت ادامه خواهد داشت. به عبارتی در طول یک شبانه‌روز، مساحتی نزدیک به ۱۰ هکتار از یک واحد زراعی آبیاری می‌شود. در روزهای دوم و سوم به خاطر افت‌های مسیر لوله تعداد دریچه‌های باز شده کمتر و به ۸۸ و نهایتا ۶۶ دریچه می‌رسد. فرآیند آبیاری برای کل قطعه زراعی در حالت بهینه۴ و نهایتا ۵ روز به طول می انجامد.

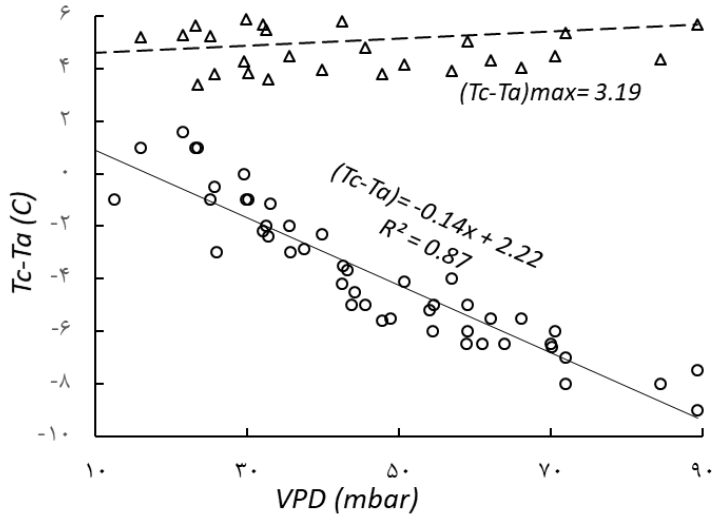
نتایج و بحث

خط مبنای بالا و پایین تنش

$T_c - T_a$ شاخصی است که وضعیت آبی گیاه را به عوامل خارجی از قبیل رطوبت خاک، کمبود فشار بخار اشباع ربط می‌دهد. در مجموعه منحنی‌های شکل (۵) رابطه کمبود فشار بخار اشباع هوا با اختلاف دمای پوشش سبز و هوا به منظور استخراج خط مبنای بالا و پایین تنش برای گیاه نیشکر در ماه‌ها و سن‌های مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، اندازه گیری درجه حرارت برگ در تاریخ های ۳ و ۱۹ خرداد ماه و نیز در تاریخ های ۴ و ۲۰ تیر ماه و همچنین در تاریخ های ۵ و ۲۱ مرداد ماه و تاریخ‌های ۶ و ۲۲ شهریور ماه، از ساعت ۸:۴۵ صبح الی ۱۳:۴۵ بعد ازظهر، هر ساعت یک‌بار و هر بار در ۸ مزرعه که در روزهای مختلف آبیاری بودند صورت گرفت. نتایج حاصل از این اندازه‌گیری‌ها در شکل (۵) نشان داده شده است. باتوجه به شکل (۵)، مقدار کمبود فشار بخار هوا در کل طول فصل رشد از ۱۵ تا ۷۵ میلی‌بار متغیر می‌باشد و رابطه خطی معادله‌های خط مبنای پایین نشان می‌دهد که با افزایش کمبود فشار بخار هوا، اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا افزایش پیدا می‌کند. کمبود فشار بخار همراه با افزایش تبخیر و تعرق بوده و در صورتی که نیاز آبی گیاه فراهم باشد، جریان آب از ریشه به برگ، همواره برقرار بوده و گیاه خنک نگهداری می‌شود. همچنین در ابتدای روز که کمبود فشار بخار اشباع، پایین است (حدودا کمتر از ۲۵میلی بار)، دمای پوشش سبز، نسبت به دمای هوا بیشتر شده است و این خود نشان می دهد که در مواقعی که کمبود فشار بخار اشباع پایین است (زمانی که رطوبت نسبی بالا و یا در ساعات اول صبح) تنش آبی مشاهده می‌شود. اختلاف دمای پوشش سبز و دمای هوا در هر ساعت در هر کدام از خطوط مبنای بالا و پائین، میانگین دمای اندازه‌گیری شده حداقل پنج نقطه است. با توجه به شکل (۵) مشاهده می‌شود که خط مبنای بالای تنش برای گیاه نیشکر واریته CP69 در بازه سه تا چهار درجه سانتی‌گراد است، به عبارت دیگر این واریته، تنشی که در آن دمای سطح برگ نسبت به هوای اطراف چهار درجه بیشتر شود را به عنوان حداکثر تنش در نظر گرفته و نیاز به آبیاری می‌نماید. در خط مبنای پائین با در نظر گرفتن شیب خط به عنوان شدت تغییرات اختلاف دمای گیاه و هوا، مشاهده می‌شود که در سن‌های جوانتر شیب خط و یا به عبارتی شدت اختلاف دما (شدت تبخیر-تعرق) بیشتر است. از سوی اختلاف دما پس از محاسبه خط مبنا بالا و پایین در تاریخ‌های فوق به‌منظور برنامه‌ریزی واحد برای گیاه نیشکر در تمام سنین و از آنجاییکه روند تغییرات برای تمام سن‌ها یکسان، یک رابطه واحد خط مبنای بالا و پایین در شکل (۶) نشان داده شد.



شکل ۵- خط مبنای بالا و پائین تنش برای گیاه نیشکر در ماه‌های مختلف و سنین مختلف



شکل ٦- خط مبنای بالا و پائین تنش برای گیاه نیشکر در کل دوره

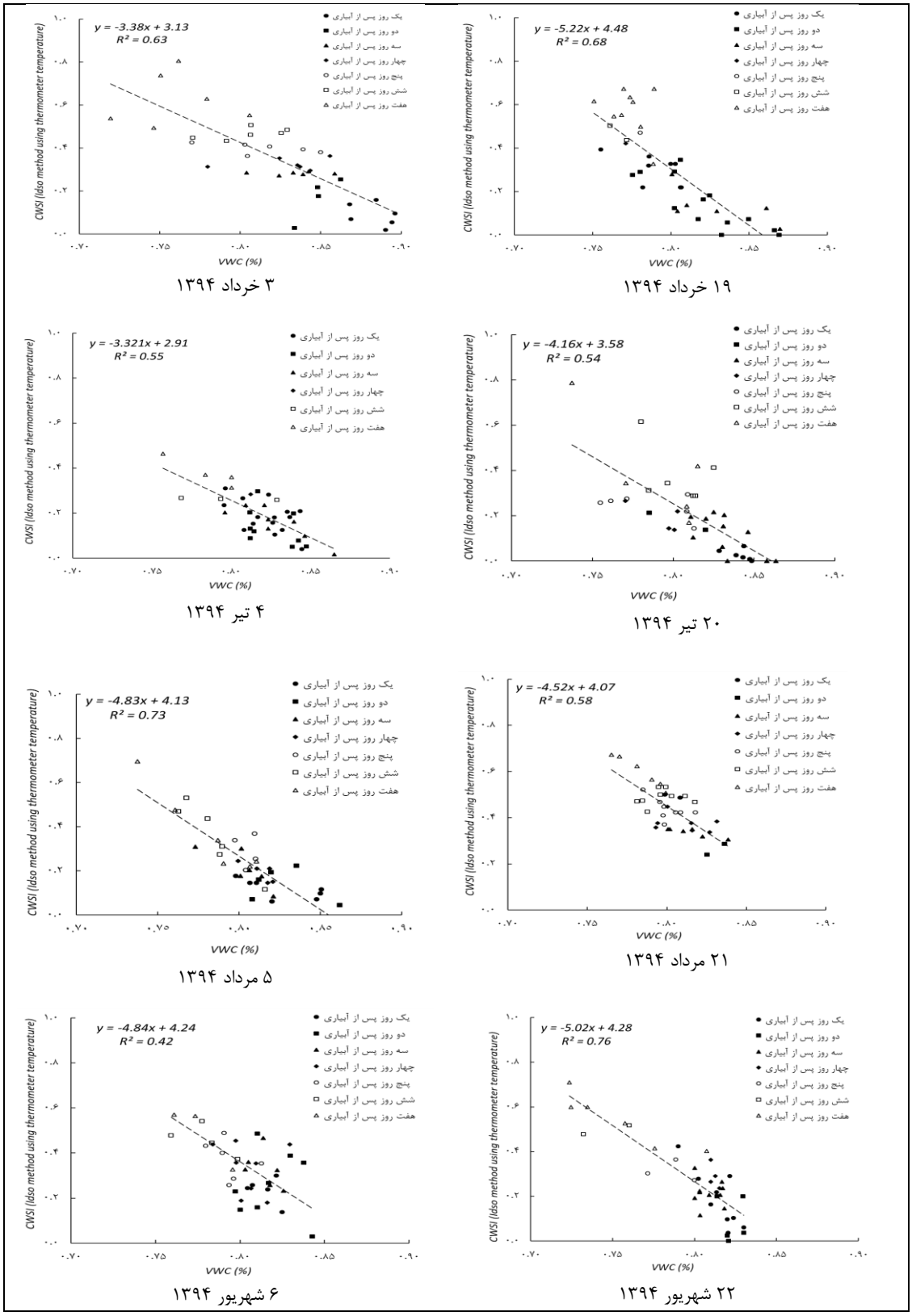
با توجه به شکل (۶) و مقایسه نتایج آن با تحقیقات لیبورجیوس[1] و همکاران (۲۰۱۰)، طی تحقیقی بر روی گیاه نیشکر در جزیره ریونیون در شرق ماداگاسکار، معادله خط مبنای پایین به فرم $T_c - T_a = 2.33 - 0.17VPD$ را ارائه دادند. همچنین الماسی شوشتری (۱۳۸۷) بر روی واریته CP69-1062 با سن کشت سال اول در منطقه جنوب اهواز معادلات خط مبنای پایینی تنش را برای نیشکر در ماه‌های خرداد، تیر، مرداد و شهریور به‌دست آورد و با مقایسه آنها نتیجه گرفت که بین آنها تفاوت معنی‌داری وجود ندارد و برای کل دوره رشد معادله $T_c - T_a = 1.55 - 0.129VPD$ را ارائه داد.

با اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه با استفاده از دماسنج مادون قرمز و دمای تر و خشک هوا نیز توسط سایکرومتر و با معلوم بودن معادلات خط مبنای بالایی و پایینی و محاسبه میانگین اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا در روزهای مختلف دور آبیاری، شاخص تنش آبی گیاه از رابطه شماره ۳ محاسبه شد. سپس در گام بعدی همبستگی این شاخص با رطوبت غلاف برگ گیاه مورد بررسی قرار گرفت.

تنش آبی و رطوبت غلاف برگ

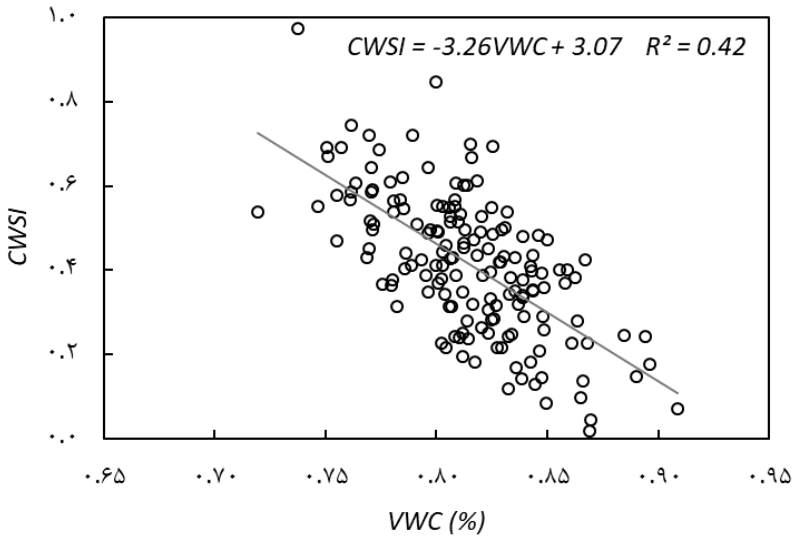
برای تعیین همبستگی بین شاخص تنش آبی گیاه و رطوبت غلاف برگ، در روزهای اندازه‌گیری دمای پوشش سبز در هشت مزرعه و هر مزرعه پنج نقطه، جمعا ۴۰ نقطه (شکل ۳) اقدام به اندازه‌گیری رطوبت غلاف برگ شد که در شکل (۷) رابطه رطوبت غلاف برگ و تنش نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌شود همبستگی تنش و رطوبت غلاف برگ اندازه‌گیری شده در طول فصل رشد برای هر کدام از سن‌ها در دو دوره اندازه‌گیری شده‌اند، در دوره دوم نسبت به دور اول ضریب همبستگی افزایش یافته است، زیرا دمای اندازه‌گیری شده در دور اول برداشت‌ها توسط دماسنج مادون قرمز دمای مجموعه‌ای از سطح سایه‌انداز گیاه و گاها آمیخته با دمای خاک را نشان می‌دهد و این روند تا زمانی که سطح سایه‌انداز گیاه کامل شود ادامه دارد. از طرفی مشاهده می‌شود که از ۳ خرداد تا ۲۰ تیر ماه با افزایش سن گیاه همبستگی بین تنش و رطوبت غلاف برگ در سن‌های مختلف کاهش می‌یابد و این روند نیز در دوره دوم برداشت‌ها یعنی از ۵ مرداد ماه تا ۲۲ شهریور نیز مشاهده می‌شود. چرا که به نظر می‌رسد با افزایش سن گیاه فرآیند جذب آب توسط گیاه و تبخیر وتعرق با تاخیر صورت می‌پذیرد (بهروان و همکاران، ۱۳۹۲). نکته حایز اهمیت دیگر آن است که شاخص تنش آبی برای گیاه نیشکر در محدوده ۰/۲ تا ۰/۷ در روزهای مختلف آبیاری نوسان می‌کند. که تعداد نقاطی که تنش بالای ۰/۵ دارند به ندرت مشاهده می‌شود. تنش بالاتر از ۰/۵ در مزارع بازرویی دوم و سوم بیشتر مشاهده می‌شود. به‌نظر می‌رسد که همبستگی شاخص تنش آبی و رطوبت غلاف برگ می‌توانست بالاتر از این باشد، چرا که ساعت اندازه‌گیری رطوبت غلاف برگ با ساعت اندازه‌گیری دما دقیقا در یک زمان انجام نگرفت و اختلاف در حدود ۱ تا ۲ ساعت در بین اندازه‌گیری این دو پارامتر وجود داشت. از طرفی اندازه‌گیری دما با دماسنج گاها شامل برگ‌هایی می‌شود که در سایه قرار دارند و یا برعکس، برگ‌ها در معرض تابش شدید آفتاب قرار می‌گرفت، که برای غلبه بر این خطای اندازه‌گیری، دما سطح سایه‌انداز نیشکر از سه جهت قرائت شد. از آنجائیکه تغییرات نمودار تنش – رطوبت در تمام سنین یکسان است، اقدام به ارائه رابطه واحد برای واریته CP69 شد. دور اول برداشت‌ها از تمام سنین (۳ تا ۲۰ تیر) برای واسنجی و از دور دوم برداشت‌ها (۵ مرداد تا ۲۲ شهریور) برای صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفت. که در شکل‌های (۸) و (۹) به ترتیب نمودار مربوط به واسنجی و صحت‌سنجی ارائه شده است.

1- Lebergous

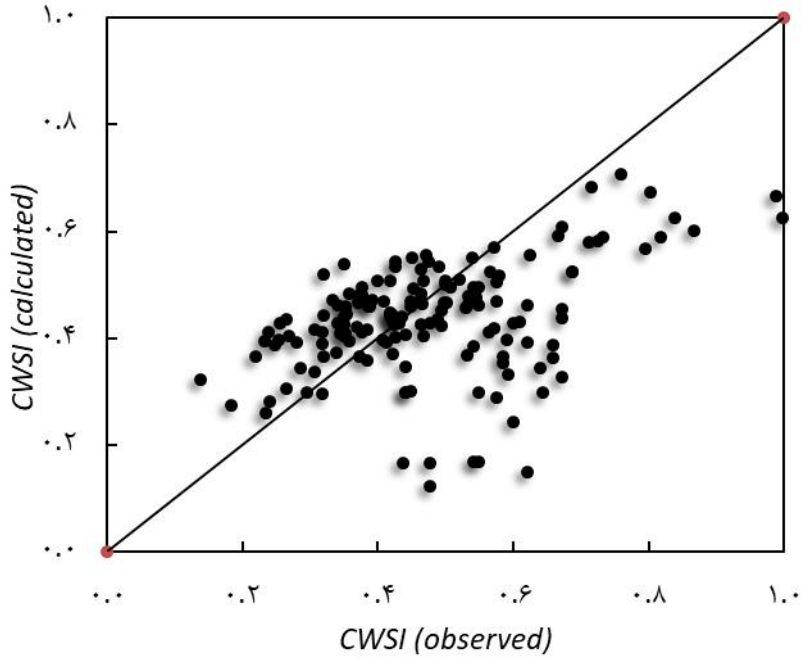


شکل ۷- رابطه بین رطوبت غلاف برگ و تنش در گیاه نیشکر در ماه‌ها و سنین مختلف

در مرحله بعد نسبت به خط ۴۵ درجه تنش مشاهداتی و اندازه‌گیری زمینی نسبت به تنش استخراج شده از معادله واسنجی ارائه شد و حداقل مجذور مربعات خطای آن محاسبه گردید (شکل ۹). همان‌طور که از نمودار (شکل ۹) مشاهده می‌گردد انحراف داده‌ها نسبت به خط ۴۵ درجه قابل تامل است، به‌طوریکه حداقل مجذور مربعات خطا ۰/۱۵ بدست آمد، به نظر می‌رسد این مقدار اختلاف تنها عامل تاثیر گذار در آن دوره رشد گیاه می‌باشد. بنابراین با توجه به عامل تغییر دوره رشد، وضعیت تنش باید در هر نقطه، مکان و زمان به صورت جداگانه مشاهده شود. هم‌چنین (شکل ۹) نشان می‌دهد که مقدار مشاهداتی نسبت به مقدار محاسباتی بیشتر است.



شکل ۸- معادله واسنجی از برداشت‌های دور اول



شکل۹- صحت سنجی با استفاده از اطلاعات برداشتی در دوره دوم

نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی با استفاده از شاخص‌های گیاهی روشی مستقیم برای تعیین زمان آبیاری می‌باشد، زیرا اولین تاثیرکمبود رطوبت در خاک و تنش آبی گیاه، بلافاصله در خود گیاه ظاهر می‌شود. در به‌کارگیری این روش باید دقت شود که با عوامل دیگری که تغییرات ظاهری در گیاه ایجاد می‌کنند، با تشنگی گیاه اشتباه نشوند. از جمله این عوامل آفات و بیماری‌ها، کیفیت آب آبیاری و برخی از عوامل محیطی را می‌توان ذکر کرد. استفاده از این روش برای تعیین زمان آبیاری نسبت به روش کنونی(کراپ لاگ) که در شرکت‌های هفت‌گانه طرح توسعه نیشکر و صنایع جانبی رایج است، هم از لحاظ هزینه و هم از لحاظ صرف وقت مقرون به صرفه‌تر است. برای شرایط اقلیمی جنوب اهواز و برای گیاه نیشکر واریته CP69-1062 خط مبنای پایین محاسبه شد. آستانه تحمل دما برای این واریته در حدود ۴ درجه سانتیگراد است. از سویی با توجه به همبستگی‌های به‌دست آمده شاخص تنش با مقدار رطوبت گیاه، می‌توان از این شاخص برای برنامه‌ریزی آبیاری گیاه نیشکر در شرایط آب و هوایی خوزستان اقدام کرد. هم‌چنین با توجه به نتایج به‌دست آمده در این تحقیق به نظر می‌رسد که مقدار بهینه شاخص تنش برای شروع آبیاری در مزارع نیشکر مقدار ۰/۵ است که متناسب برای تمام سن‌های گیاه می‌باشد. پیشنهاد می‌شود به منظور ادامه این تحقیق بررسی دمای مزارع نیشکر با استفاده از پهبادهای حرارتی مورد بررسی قرار گیرد. با این کار عملا اندازه‌گیری‌ها از حالت نقطه‌ای خارج و برای صحت‌سنجی آن می‌توان با اندازه‌گیری‌های زمینی مطابقت داده شود. از سویی به منظور برآورد دقت روش ایدسو در تعیین تنش، مقدار آن با پتانسیل آب برگ سنجیده شود و با استفاده از دستگاه که پتانسیل فشاری را می‌سنجد، در همان نقطه پس از برداشت دما، بلافاصله نسبت به اندازه‌گیری پتانسیل آب برگ اقدام شود، چرا که به نظر می‌رسد علاوه بر اختلاف زمان اندازه‌گیری رطوبت برگ با دمای سطح سایه‌انداز گیاه، دمای سطح سایه‌انداز گیاه در واقع نشان‌دهنده دمای برگ‌ها است و رطوبت غلاف برگ اندازه‌گیری شده از ساقه گیاه منتج می‌شود به نظر می‌رسد با رطوبت موجود در غلاف برگ گیاه تفاوت اساسی داشته‌باشد.

منابع

۱- الماسی شوشتری، م. ، برومند نسب ، س. و ح. ع. کشکولی، ۱۳۸۷. تعیین زمان آبیاری با استفاده از تفاوت دمای پوشش سبز گیاه–هوا و شاخص تنش آبی در نیشکر. دومین همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.۴۶-۳۵.

۲- برومند نسب، س. طاهری قناد، س. و م. معیری. ۱۳۸۳. استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه برای برنامه ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط شمال خوزستان. مجله علمی کشاورزی، دانشکده کشاورزی اهواز، شماره ۳۵، صفحه ۳۲-۲۴.

۳- بهروان، ح، ر.، زند، ا. و ف، شفیعی بافتی.، ۱۳۹۲، مدیریت بهینه در صنعت نیشکر، انتشارات موسسه تحقیقات نیشکر، ۳۸۵ صفحه.

۴- عزیزی، ح. ۱۳۷۳. زراعت نیشکر در خوزستان، شرکت کشت و صنعت کارون، واحد انتشارات تحقیقات کشاورزی. ۱۴۵ صفحه.

۵- علیزاده، ا.، ۱۳۸۳ . طراحی سیستم های آبیاری. انتشارات آستان قدس رضوی دانشگاه امام رضا. ۴۶۰ صفحه.

۶- طاهری قناد، س.، ۱۳۸۱. استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه جهت برنامه ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط شمال خوزستان. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران.

7- Abdul-Jabbar, A.S., D.G. Lugg, T.W. Sammis. and I.V. Gay. 1985. Relationships between Crop Water Stress Index and Alfalfa Yield and Evapotranspiration. Trans. ASAE. 28(2):454-463.

8- Akkuzu, E., Kaya, U., Camoglu, G., Mengu, G.P and S, Asik. 2013. Determination of crop water stress index and irrigation timing on Olive trees using a handheld infrared thermometer. ASCE.J.Irrig.Drain Eng. 139:728-737.

9- Asari, A.Q., Loomis, W.E.,1959," Leaf temperature", AMERICAN JOURNAL OF BOTANY.46:713-717.

10- Candogan, B. K., Shncik, M., Buyukcangaz, H. and C. Demirtas, 2013. Yield, quality and crop water stress index relationships for deficit-irrigated soybean [Glycine max (L.) Merr.] In sub-humid climatic conditions. Agric. Water Manage.118:113– 121.

11- Curtis, O. F. (1938). Wallace and Clum, "Leaf temperatures": A critical analysis with additional data. AMERICAN JOURNAL OF BOTANY. 25, 761-771.

12- Gontia, N.K., and K.N. Tiwari. 2008. Development of crop water stress index of wheat crop for scheduling irrigation using infrared thermometry. Agric. Water Manage. 95:1144-1152.

13- Idso, S.B. 1982. Non Water Stressed Baselines: A Kay to Measuring and Interpreting Plant Water Stress. Agric. Meteorol. 27:59-70.

14- Jackson, R.D. 1981. Soil Moisture Inferences from Thermal Infrared Measurements of Vegetation Temperatures. Dig. Int. Geosci. Remot sens. Symp. 1:364-374.

15- Jackson, R.D., 1982. Soil moisture inferences from thermal-infrared measurements of vegetation temperatures. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, (3): 282-286.

16- Lebourgeois, V., J.L. Chopart, A. Begue. and L. LeMezo. 2010. Towards using a thermal infrared index combined with water balance modeling to monitor sugarcane irrigation in a tropical environment. Agric. Water Manage. 97:75-82.

17- Moran, M.S., Clarke, T.R., Inoue, Y. and Vidal, A., 1994. Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. Remote sensing of environment, 49(3), pp.246-263.

18- Orta, A.H., Erdem, Y. and Erdem, T., 2003. Crop water stress index for watermelon. Scientia Horticulturae, 98(2): 121-130.

19- Paltineanu, C., Septar, L., and C, Moale. 2013. Crop Water Stress in Peach Orchards and Relationships with Soil Moisture Content in a Chernozem of Dobrogea.ASCE. Journal of Irrigation and Drainage Engineering., 139: 20–25.

20- Sepaskhah, A.R. and S.M. Kashefipour. 1994. Relationships between Leaf Water Potential, CWSI, Yield and Fruit Quality of Sweet Lime Under Drip Irrigation. Agric. Water Manag. 25(1):13-21.

21- Sepaskhah, A.R., S.M.J. Nazemossadat. and Kamgar-Haghighi. 1987. Water Stress of Sugarbeet as Related to leaf and Canopy Temperatures and to Leaf Water Contant. Iran Agricaltural Research. 6:29-43.

22- Wiegand, C.L. and L.N. Namken. 1966. Influences of Plant Moisture Stress, Solar Radiation and Air Temperature on Cotton Leaf Temperature. Agron. J. 58:552-556.

23- Yuan, G., Y. Luo, X. Sun. and D. Tang. 2004. Evaluation of a Crop Water Stress Index for Detecting Water Stress in Winter Wheat in the North China Plain. Agric. Water Manag. 64:29-40.

Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering **Vol. 40, No. 4, Winter 2018, p. 77-90**

EXTENDED ABSTRACT

Relationship between leaf sheath moisture and Crop Water Stress Index (CWSI) using Infrared Thermometer

Sh. Veysi[1], A. A. Naseri[2*] and S. Hamzeh[3]

1- Ph.D. Student of Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Water Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2 * - Corresponding Author, Professor of Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (*abdalinaseri@yahoo.com*)

3- Assistant Professor of Remote Sensing and GIS Department, Faculty of Geography, University of Tehran, Tehran, Iran.

Received:29 February 2016 Accepted:19 June 2016

Keywords: water stress, Salman Farsi agro-industry, Infrared thermometer, leaf sheath moisture, sugarcane

Introduction and objectives:

One of the important factors which has led to reduction of the sugarcane yield is short-term water stress either in growing season or in the meantime of two sequence irrigation events. Therefore, studying and monitoring of crucial parameters of sugarcane water content (canopy temperature, soil moisture and vegetation moisture) is essential. The main objectives of present study are monitoring the effective parameters of sugarcane water content, and consequently determining the correlation between two different methods for determining irrigation schedule which are based on the canopy temperature and the leaf sheath moisture measurement, in order to have an efficient irrigation scheduling as well as determining the time and the amount of irrigation, accurately.

Materials and methods:

This research was conducted during May to September 2015 in Salman Farsi agro-industry unit. Four different ages of sugarcane fields (plant, Ratoon1, Ratoon2, Ratoon3) of CP69-102 variety were investigated. The reason for selection of this period is that sugarcane water stress commonly occurs at these months (Pashaei, 1996). For detection of the CWSI, temperature of sugarcane canopy was measured using infrared thermometer. The measurement performed every hour from 8:45 until 13:45 to extract up and low base lines stress and in the points where temperature was recorded, the leaf sheath moisture was measured (Idso, 1982). In second step of research, in the places that canopy temperature was measured, the percentage of leaf sheath moisture were measured as well, then relationship between the Leaf sheath moisture and CWSI was investigated. In each round, eight fields that had same age and various irrigation days have been selected for monitoring (total 32 fields). Produced relationship between the leaf sheath moisture and CWSI has been calibrated. At the second round of measurement validation was conducted. Relationship between leaf sheath moisture and CWSI was assessed.

Results and Discussions:

In this research the lower baseline equation of sugarcane stress ($T_C - T_a = 0.14VPD + 2.28$) for CP69-1062 variety in all of the growing seasons was estimated with R^2=87%. Also, the mentioned baseline equation which is like a horizontal line, varied between 2-5 c°. Comparing the upper baseline for different ages, the trend of changes in different ages did not show a significant difference between the two years until farms of ratoon 2, and varied from 3 to 4 c°, but in the fields of ratoon 3, the upper base line showed 2 c°. Once the difference between air and canopy temperature reaches to two centigrade, the fields ratoon 3 were affected by water stress condition. It could be concluded that the low temperature of the ratoon 3 base line is a consequence of plants' age increasing which caused the stomatal resistance increasing, so the transpiration is delayed. The results also showed that the canopy temperature at 8:45 was more than air temperature that indicate there is a delay in plant responses to sun exposure and opening with delay in plant stomata. In another step, the stress value in different days after irrigation was calculated and results showed that the crop water stress index in different days of irrigation varied from 0.2-0.6 and the optimal value of water stress index in all of the sugarcane ages to start the irrigation is 0.5 (Veysi et al., 2017). Because in this amount of stress or more, leaf sheath moisture content than the defined amount for sugarcane is decreased, till the plant does not enter into water stress. In addition, the relationship between the leaf sheath moisture content and the crop water stress index in the calibration stage showed an average of 42% correlation coefficient for all ages. The low correlation is due to the fact that the hour of measuring the moisture content of the leaf sheath with the temperature measuring time was not simultaneous, and there was a difference of about 1 to 2 hours between the measurements of these two parameters. Also, measuring the temperature with the thermometer sometimes includes leaves that are in the shade. The results of observational stress and computational stress showed a good distribution in the validation stage based on (1:1) line.

Conclusions:

To sum up, the results have shown that the crop water stress index that was calculated from canopy temperature is sensitive, accurate, and quick index for estimating water content status of sugarcane. To determine the irrigation time in sugarcane fields that have numerous farms, this method is significantly cheaper than measurement of leaf sheath water content, which is already applying in this area. In order to continue this research, it is suggested to investigate the temperature of sugarcane fields using airborne thermal imagery. By doing so, the measurements will be practically off-point and can be matched with ground measurements to verify. In order to estimate the accuracy of the Idso method for determining the stress, its relationship with leaf water potential should be studied, as well.

References:

1- Pashaei, A., 1996. Extensive irrigation effects on some physico-chemical, clay mineralogical and micromorphological characteristics of Haftepah soils. Proceeding of the second Iranian National Soil and Water Congress. Tehran, Iran (In Persian).

2- Idso, S.B., (1982). Non-water-stressed baselines: a key to measuring and interpreting plant water stress. Agric. Meteorol. 27, 59–70.

3- Veysi, Sh. Naseri, A. A. and S. Hamzeh, (2017). A satellite based crop water stress index for irrigation scheduling in sugarcane fields. Agricultural Water Management. 189, 70–86.