دومین سمینار راهکارهای بهبود و اصلاح سامانه‌های آبیاری سطحی
۲ خرداد ماه ۱۳۸۷

برنامه‌ریزی آبیاری مزارع با استفاده از یک روش مستقیم

سعید طاهری قناد[۱]

۱-چکیده:

تعین زمان مناسب آبیاری یکی از تصمیم‌گیری‌های مهمی است که برنامه‌ریزان واحدهای زراعی با آن روبرو هستند آبیاری در روش‌های متداول، زمانی انجام می گردد که آب سهل‌الوصول توسط گیاه مصرف شده باشد در روش بیلان آبی نیز توازن آب در خاک به گونه‌ای بر قرار می گردد که رطوبت خاک از حداقل مجاز تجاوز ننماید در این روش‌ها معیار سنجش تنش آبی، موجودیت آب در خاک می‌باشد؛ «*در صورتی که در روش‌های مستقیم وضعیت رطوبتی اندام‌های گیاهی مستقیماً مورد سنجش قرار می‌گیرد*» به همین دلیل استفاده از پتانسیل آب برگ و یا دمای پوشش سبز گیاه به عنوان شاخص‌هایی از تنش آبی از اهمیت زیادی برخوردار بوده به طوری که مورد توجه بسیاری ازمحققین قرار گرفته‌اند در این پژوهش جهت برنامه‌ریزی آبیاری و بررسی میزان تنش آبی از دمای پوشش گیاه استفاده گردید؛ یک مدل چند متغیره بر اساس پارامترهای جوی نظیر سرعت باد، رطوبت هوا، تشعشع خورشید، دمای هوا و دمای سطح گیاه تعریف گردید که با استفاده از آن می توان زمان آبیاری را بر اساس اندازه‌گیری‌های مستقیم در مزارع به گونه‌ای تنظیم نماید که تنش وارده به گیاه از حداکثر مجاز تجاوز نکند ضمناً این مدل به عنوان یک روش عملی با لحاظ نمودن اهمیت کم آبیاری در مناطق خشک و نیمه خشک و با رعایت معنی‌دار کاهش عملکرد محصول قابل استفاده می باشد.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، زمان آبیاری، روش‌های مستقیم، تنش آبی گیاه

۱- کارشناس ارشد آبیاری و زهکشی- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد واحد دزفول
Staheri2007@gmail.com

۲-مقدمه:

تعیین زمان مناسب آبیاری یکی از تصمیم‌گیری مهمی‌است که مدیران مزرعه با آن روبرو هستند. در روش بیلان آبی، معمولاً موقعی آبیاری انجام می‌شود که مقدار قابل قبولی از آب قابل استفاده خاک (آب سهل‌الوصول) بوسیله گیاه مصرف شده باشد. تعیین مقدار آب سهل‌الوصول به عوامل مختلفی نظیر نوع گیاه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و شرایط آب و هوایی محیط بستگی داشته و تعیین دقیق آن نقش مهمی‌در عملکرد بهینه گیاه دارد. در روش‌های معمولی آبیاری موجودیت آب در خاک بعنوان معیار سنجش تنش آبی در اندام‌های گیاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد ولی وضعیت آب درون این اندام‌ها مستقیماً ارزیابی نمی‌گردند. در روش‌های نوین، به منظور کاهش تنش آبی گیاه سعی بر آن است که بجای آب خاک، وضعیت رطوبتی اندام‌های هوایی گیاه مستقیماً مورد سنجش قرار گیرد. به همین دلیل طی دو دهه اخیر، استفاده از پتانسیل آب در برگ و نیز دمای پوشش سبز گیاه به عنوان شاخص‌هایی از تنش آبی و زمان آبیاری مورد توجه محققین قرار گرفته است.

تعدادی از پژوهشگران معتقدند که در مقایسه با روش‌های سنتی، استفاده از این شاخص‌ها می‌تواند شدت تنش را بهتر ارزیابی نموده و زمان آبیاری را به طور دقیق‌تری تعیین نماید. گرچه پتانسیل آب در برگ شاخص خوبی جهت تعیین وضعیت رطوبتی گیاه می‌باشد، تعداد زیاد اندازه‌گیری‌های مورد نیاز مزرعه‌ای و زمان بر بودن، استفاده از آن را با مشکل روبرو می‌نماید. تعیین وضعیت آب گیاه بر حسب درصد وزن تازه بافت نیز بر اثر فتوسنتز، تنش آبی و جابجا شدن مواد، باعث تغییرات قابل سنجش در مقدار اجسام حل نشدنی برگ شده و همچنین باعث تغییرات روزانه وزن خشک برگ می‌گردند علاوه بر آن تعیین مقدار نسبی آب نیز که براساس اندازه‌گیری وزن آماس گیاه انجام می‌گیرد نیز به زمان زیادی برای تعادل نیاز است (Robert ۱۹۸۳) این گونه اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای در مطالعات مربوط به برنامه‌ریزی آبیاری در مزارع کوچک نتایج مفیدی را در پی داشته، اما استفاده از این روش‌ها در واحدهای بزرگ زراعی مستلزم صرف هزینه و نیروی انسانی خیلی زیادی بوده و سرانجام نیز با خطاهای خیلی زیاد همراه می‌باشد؛ بنابراین *اندازه‌گیری درجه حرارت برگ گیاه به عنوان یک اندازه گیری مستقیم از گیاه برای بررسی و مشاهده پاسخ گیاه به رژیم آب خاک در محیط زیست به عنوان یک پارامتر مناسب‌تر در طول زمان شناخته شده است.[۱و۲و۳]*

Jackson در سال ۱۹۸۲ تاریخچه ای از کوشش های به عمل آمده برای اندازه‌گیری درجه حرارت برگ و سایه‌انداز گیاه را به منظور بررسی وضعیت تنش آبی گیاهان، مرور کرده است. همزمان با اندازه‌گیری دمای برگ گیاه، *شاخص‌های* مختلفی نیز جهت رسیدن به این موضوع ارائه شده است اولین اندازه‌گیری‌های درجه حرارت برگ گیاهان تحت وضعیت‌های زراعی توسط Miller&Saunders (۱۹۲۳) انجام شد. دانشمندان از سال ۱۹۶۰ به بعد همزمان با ساخت دماسنج مادون قرمز، درجه حرارت برگ را از طریق سنجش از راه دور (RS) مورد بررسی قرار دادند (Tanner&Fochs (۱۹۶۶)). و مشاهده کردند

که درجه حرارت برگ به صورت خطی با کاهش آماس برگ‌ها افزایش می‌یابد. ارتباط و همبستگی بین دمای گیاه، تنش آبی و نهایتاً زمان آبیاری بر این فرض گزارش گردید که در شرایط آماس کامل گیـاه، تعرق در شرایط پتانسیل و دمای برگ کمتر از دمای محیط می‌باشد و برعکس هنگامی‌که گیاه دچار تنش آبی می‌شود، روزنه‌ها بسته شده و تعرق کمتری صورت می‌پذیرد و به دنبال آن درجه حرارت پوشش سبز گیـاه افزایش پیدا می‌کند؛ [۸ و۹]

توانایی استفاده از دمای گیاه جهت بررسی عواملی نظیر مدیریت آبیاری، تنش آبی گیاه و میزان تعرق، مورد تایید بسیاری از محققین از جمله سپاسخواه و همکاران (۱۹۸۷)، Qiu (۱۹۹۶و۲۰۰۱)، الفرج و همکاران (۲۰۰۱) و برومند نسب و همکاران (۱۳۸۵ و ۱۳۸۳) قرار گرفته است. جهت استفاده مناسب از دمای گیاه یک سری شاخص و مدل ارائه شد که مهمترین آنها شاخص تنش آبی گیاه CWSI[1] است که نخستین بار توسط Idso (۱۹۸۱) و Jackson (۱۹۸۱) معرفی شد. سپاسخواه و همکاران (۱۹۸۷) توانایی شاخص تنش گیاه را جهت تعیین میزان تنش آبی و برنامه‌ریزی آبیاری چغندرقند در منطقه باجگاه مورد سنجش قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان دهنده وابستگی بسیار زیاد این شاخص با وضعیت آب در گیاه بود. علاوه بر آن شاخص CWSI با تبخیر و تعرق چغندر و عملکرد آن همبستگی بسیار زیادی نشان داد.

گیسر و همکاران (۱۹۸۲)، سپاسخواه و همکاران (۱۹۸۷) و برومند نسب و همکاران (۱۳۸۳) با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره مدلی جهت پیش بینی زمان آبیاری استخراج نمودند که در آن اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیـاه و هوا به عنوان متغیر وابسته و فاکتورهای تشعشع خالص، رطوبت نسبی و درصد رطوبت قابل وصول خاک به عنوان متغیرهای مستقل ارائه شدند. آنها در آزمایش دیگری کارآئی این رابطه را جهت پیش‌بینی زمان آبیاری مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه گرفتند که این روش علاوه بر نتیجه مثبت در مقایسه با سایر روش‌های معمول، باعث بالا رفتن کارآیی مصرف آب خواهد شد.

سپاسخواه و کاشفی پور (۱۹۹۴) ارتباط بین پتانسیل آب برگ و شاخص تنش آبی گیاه را با مقدار عملکرد لیمو شیرین تحت شرایط آبیاری قطره ای مورد بررسی قرار دادند و با استفاده رگرسیون چند متغیره ارتباط بین پتانسیل آب برگ به عنوان متغیر وابسته و اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیـاه، کمبود فشار بخار هوا، پتانسیل آب خاک به عنوان متغیر مستقل مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که این مدل توانایی استفاده جهت برنامه‌ریزی آبیاری را دارد. [۱۰و۱۱]

دماسنج مادون قرمز (IRT[2]):

دماسنج مادون قرمز معمولاً به صورت دستی (تفنگی) و یا ادوات نصب شده بر روی هواپیما یا ماهواره استفاده می‌شود این دستگاه در واقع تشعشع مادون قرمز منتشر شده بوسیله یک جسم را که در خارج از

1- Crop water stress index
2- Infrared thermometer

دامنه مشاهداتی چشم انسان است، اندازه‌گیری می‌کند. اشعه مادون قرمز در واقع اشعه الکترو مغناطیسی است که دارای طول موج ۰/۷۵ میکرون الی ۱۰۰۰ میکرون می‌باشد در حالی که اشعه دامنه مشاهداتی چشم انسان بین ۰/۰۱ الی ۱ میکرون است اگر دو جسم دارای درجه حرارت های متفاوتی باشند تشعشع خالص مادون قرمز از جسم گرمتر به جسم سردتر جریان می‌یابد، به طوری کلی اندازه‌گیری‌های دماسنج مادون قرمز براساس قانون استفان بولتزمن می‌باشد. رابطه استفان بولتزمن به قرار زیر است:

$$W = rT_S^4 \qquad (۱)$$

در این رابطه W تشعشع ساطع شده بوسیله سطح بر حسب وات بر متر مربع (Wm^{-2})، r ثابت استفان بولتزمن ($۵/۶۷۴ \times ۱۰^{-۸} Wm^{-2}k^{-4}$)، T_s دمای سطح بر حسب کلوین (K).

زمانی که جسمی‌در دید دماسنج مادون قرمز قرار می‌گیرد پس از ورود تشعشع مادون قرمز ساطع شده از جسم، در کانون لنز دستگاه جمع‌آوری می‌شوند به دنبال آن تشعشع جمع‌آوری شده به یک سیگنال الکتریکی و براساس رابطه استفان بولتزمن به درجه حرارت جسم تبدیل می‌شود و این سیگنال الکتریکی به سیگنال دیجیتالی تبدیل می‌شود که روی خروجی دستگاه نمایش داده می‌شود.[۱و۲]

شاخص تنش آبی به روش Idso:

ایدسو بر اساس تحقیقات مزرعه ای و تجزیه و تحلیل اطلاعات حاصل از آنها ، موفق به تعیین این شاخص گردید برای درک بهتر شاخص تنش آبی گیاه (C.W.S.I) از دیدگاه تجربی، ابتدا خط مبنای پائینی و خط مبنای بالائی تعریف می‌گردد تا براساس این دو خط مبنا ، شاخص تنش آبی گیاه قابل تعریف باشد.

Idso در آزمایشات خود متوجه گردید چنانچه برای گیاهان که از نظر تأمین آب محدودیتی ندارند اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه با هوای مجاور (T_c-T_a) و کمبود فشار بخار هوا (VPD) 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 بدست آمده بیانگر وجود یک رابطه خطی بین این دو پارامتر می‌باشد. که اصطلاحاً خط مبنای پائینی و یا خط بی تنش (lower base line) نامگذاری گردید.[۶]

Idso (۱۹۸۲) در پژوهش‌های بعدی خود معادله خط بی تنش را برای ۳۹ گونه مختلف گیاهی که شامل درختان، بوته‌ها و گیاهان آبزی نیز می‌گردید تعیین نمود. فرمول ریاضی این خط به قرار زیر می‌باشد.

$$(T_C - T_a)_{l.l} = a - b.(VPD) \qquad (۲)$$

$$VPD = 10 \times \exp\left[\frac{16.78T - 116.9}{T + 237.3}\right]\left(1 - \frac{RH}{100}\right) \qquad (۳)$$

که در آن $(T_c - T_a)_{l.l.}$ اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیـاه و هوا بر حسب درجه سانتیگراد، VPD کمبود فشار بخار هوا بر حسب میلی بار که از رابطه (۲) محاسبه می گردد؛ a و b ضرائب رابطه خطی می‌باشند. RH نیز رطوبت نسبی است که به ازای ترمومترهای تر و خشک و از جداول مربوطه محاسبه می گردد و T دمای هوا بر حسب درجه سانتیگراد که از ترمومتر خشک قرائت می گردد.[۶]

خط مبنای پائینی یک خصوصیت ویژه برای هر گیـاه بوده و معرف شرایطی است که در آن شرایط گیـاه از نظر تأمین آب از ناحیه ریشه با هیچ محدودیتی روبرو نبوده و میزان تبخیرپذیری هوا نیز در محدوده ماکزیمم مقدار خود می‌باشد. بنابراین شدت تعرق گیـاه در این حالت برابر با شدت تعرق پتانسیل می‌باشد. خط مبنای بالائی و یا خط تنش کامل (upper base line) معرف حداکثر مقداری است که می‌توان برای اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیـاه و هوای مجاور انتظار داشت یا به طوری که وقتی (T_c-T_a) به این حد افزایش یافت عمل تعرق به طور کامل متوقف خواهد شد. این خط مبنا مستقل از کمبود فشار بخارآب (VPD) می‌باشد بدین معنی که وقتی (T_c-T_a) به حد بالائی ممکن خود افزایش پیدا نمود عمل تعرق بدون توجه و وابستگی به مقدار VPD قطع می‌گردد بنابراین در شکل (۱) این خط به طور موازی با محور VPD رسم می‌شود. شکل ریاضی معادله خط مبنای بالائی به صورت زیر می‌باشد:

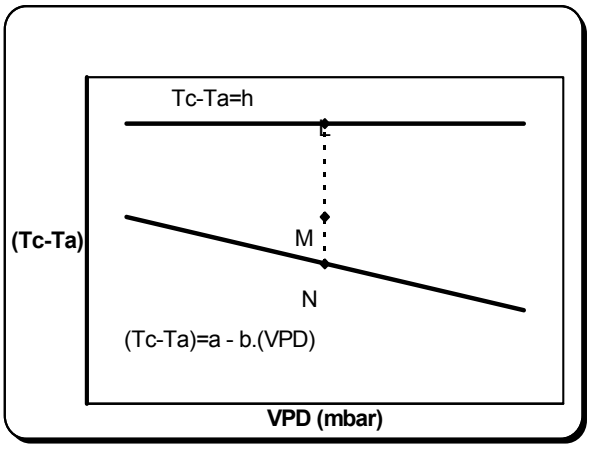
$$(T_c - T_a)_{u.l.} = h \qquad (۴)$$

در این رابطه h مقدار ثابت بر حسب درجه سانتیگراد می باشد.[۶]

در تحقیقات Jackson (۱۹۸۱) بر روی گندم مقدار h برابر ۵ درجه سانتیگراد در نظر گرفته شد عبدالجبار (۱۹۸۵) مقدار h را برای یونجه برابر ۴ درجه سانتیگراد بدست آورد. در تحقیقاتی که توسط سپاسخواه و همکاران در سالهای (۱۹۸۷)،(۱۹۹۴) و(۱۹۹۶) صورت گرفت مقدار h به ترتیب برای گیاهان چغندر قند، لیمو شیرین و لوبیا برابر با ۶ ، ۵ و ۵ درجه سانتیگراد در تیمارهایی که تحت تنش کامل قرار گرفته بدست آمد. در تحقیق حاضر حداکثر مقدار h در خرداد ماه برای ذرت بهاره برابر ۴/۵ درجه سانتی گراد محاسبه گردید. از نظر تئوری در شرایطی که هوا از بخار آب اشباع باشد در آن صورت $(T_c - T_a)$ متناظر با کمبود فشار بخار هوا و گیاه ، بیانگر وضعیتی است که تعرق از سطح گیاه متوقف شده لذا خط مبنای بالایی از رابطه زیر قابل محاسبه می باشد: [۱و۱۰و۱۱]

$$(T_c - T_a)_{l.l} = a + b.\left|e_a^* - e_c^*\right| \qquad (۵)$$

که در این رابطه e_a^* فشار بخار فوق اشباع هوا و e_c^* فشار بخار اشباع پوشش سبز گیاه در دمای T_c می‌باشد.



شکل(۱) موقعیت خط مبنای بالایی و پایینی به روش Idso

بر اساس تعریف، شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) در مقدار معینی از کمبود فشار بخار آب، عبارت است از نسبت بین تفاوت $(T_c\text{-}T_a)$ اندازه‌گیری شده از خط مبنای پائینی به کل تفاوت ممکن به ازاء همان مقدار VPD، در شکل (۱) این مقدار برابر با نسبت MN به LN می‌باشد، مطابق این تعریف، تغییرات شاخص تنش آبی گیاه بین صفر الی یک می‌باشد.

$$CWSI = \frac{MN}{LN} = \frac{(T_C - T_a)_m - (T_c - T_a)_{l.l.}}{(T_c - T_a)u.l. - (T_c - T_a)_{l.l.}} \qquad (۶)$$

در این رابطه $(T_c - T_a)_m$ اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا بر حسب درجه سانتیگراد می‌باشد.[۶]

شاخص تنش آبی گیاه به روش Jackson:

Jackson برای منظور کردن عوامل محیطی بیشتر یک روش تئوریکی مبتنی بر معادله کلی بیلان انرژی ارائه نموده است. معادله کلی بیلان انرژی در سطح پوشش سبز گیاهان به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$R_n = G + H + \lambda E + M \qquad (۷)$$

که در این رابطه R_n شدت جریان تشعشع خالص، G شدت گرمای خاک، H شدت جریان گرمای محسوس بین سطح و هوا، λE شدت جریان گرمای نهان تبخیر و M شدت جریان ذخیره گرمائی و همه این

پارامترها بر حسب کالری بر سانتیمتر مربع در دقیقه ($cal.cm^{-2}. min^{-1}$) لازم به ذکر است که شدت جریان ذخیره گرمائی، صرف فتوسنتز شده و به صورت تنفس خارج می‌شود. معمولاً بیش از ۲ یا ۳ درصد نمی‌باشد و در محاسبات منظور نمی‌شود.[۷]

شدت جریان گرمای خاک (Soil Heat flux):

جریان گرمای خاک (G) در واقع سرعت انتقال گرما به خاک می‌باشد، مقدار آن بستگی به خواص ترمودینامیکی خاک با مقدار رطوبت خاک، توزیع دمای پروفیل خاک و درصد پوشش گیاهی دارد محاسبه جریان گرمای خاک براساس قانون اول انتقال گرما انجام می‌شود، به طور کلی G تنها ده درصد تشعشع خالص است در این شرایط $R_n-G = ۰/۹ R_n$ می‌باشد. [۷]

شدت جریان گرمای محسوس (Sensible Heat flux):

جریان گرمای محسوس، انتقال انرژی در سطح گرمتر به محیط اطرافشان (هوا) و یا برعکس انتقال گرما و انرژی از هوا به اجسام خنک تر سطح زمین می‌باشد، انتقال انرژی و گرمای محسوس غالباً بوسیله فرآیندهای انتقال آرام یا فرآیندهای انتقال آشفته (باد) منتقل می‌شود، نحوه محاسبه جریان گرمای محسوس همانند قانون اهم در مدارهای الکتریکی می‌باشد. مطابق این قانون جریان گرمای محسوس به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$H = 600\rho C_p(\frac{T_C - T_a}{r_a}) \qquad (۸)$$

در این رابطه اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا بر حسب (C^o)، نیروی محرکه جریان گرمای محسوسی می‌باشد و ρ چگالی هوا بر حسب ($gr.cm^{-3}$) و C_P ظرفیت گرمائی هوا که برابر ۰/۲۴ و r_a مقاومت هوا برحسب ثانیه برمتر ($S.m^{-1}$) می‌باشد.[۷]

شدت جریان گرمای نهان تبخیر:

جریان گرمای نهان تبخیر در معادله بیلان انرژی از نظر مدیریت آبیاری، اهمیت زیادی برخوردار است محاسبه جریان گرمای نهان نیز براساس قانون اهم انجام می‌شود که شیب فشار بخار بین بـــرگ گیاه و هوا به عنوان نیروی محرکه و مقاومت‌ها پوشش سبز گیاه و هوا نیز به عنوان مقاومت‌های موجود مطرح هستند نحوه محاسبه آن براساس تحقیقات پنمن (penman) (۱۹۴۸) و مانتیث (Monteith) (۱۹۶۲) و Jackson (۱۹۸۱) پایه‌ریزی شد. [۷]

$$\lambda E = 6000\rho C_P[\frac{(e_c - e_a)}{\gamma(r_c + r_a)}] \qquad (۹)$$

که در آن e_c فشار بخار اشباع در T_c و بر حسب میلی بار (mb) و e_a فشار بخار اشباع هوا در T_a و بر حسب (mb) و γ ثابت سایکرومتریک بر حسب ($mb.c^{o-1}$) و r_c و r_a به ترتیب مقاومت پوشش سبز گیاه و مقاومت هوا در برابر انتقال بخار آب می‌باشند بر حسب (S.m) و λE گرمای نهای تبخیر بر حسب ($kj.kg^{-1}$).

خط مبنای پایینی به روش Jackson:

ارتباط خطی بین اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا (T_c-T_a) و کمبود فشار بخار از تلفیق روابط (۷)، (۸) و (۹) بدست می‌آید و این رابطه به عنوان خط مبنای پایینی به صورت زیر می‌باشد:

$$(T_C - T_a)_{L.L} = \frac{r_a(R_n - G)}{600\rho C_P} \times \frac{\gamma(1+\frac{r_{cp}}{r_a})}{\Delta + \gamma(1+\frac{r_{cp}}{r_a})} - \frac{VPD}{\Delta + \gamma(1+\frac{r_{cp}}{r_a})} \qquad \Delta = \frac{e_c^* - e_a^*}{T_C - T_a} \quad (۱۰)$$

کلیه پارامترهای موجود در رابطه (۱۰) قبلا معرفی شده‌اند. علاوه بر آنها r_{cp} مقاومت گیاه در حالت تعرق پتانسیل و Δ شیب کمبود فشار بخار اشباع - دما بر حسب (mbc^{o-1}) و VPD کمبود فشار بخار آب هوا بر حسب (mb) می‌باشند.

تعیین خط مبنای بالائی به روش Jackson:

برای تعیین خط مبنای بالایی فرض می‌کنیم که مقدار مقاومت گیاه (r_c) به سمت بی نهایت میل می‌کند بنابراین معادله (۱۰) در شرایطی که $(r_c \to \infty)$ به صورت زیر ساده می‌شود:

$$(T_C - T_a)_{u.l} = \frac{r_a(R_n - G)}{6000\rho C_P} = \frac{0.9(r_a.R_n)}{6000\rho.c_p} \qquad (۱۱)$$

این رابطه نشان می‌دهد که خط مبنای بالائی به طور مستقیم وابسته به مقاومت آنرودینامیکی هوا و شدت تشعشع خالص می‌باشد. Jackson از نسبت شدت تعرق واقعی به شدت تعرق پتانسیل و یا کمبود تعرق نسبی جهت بیان شاخص تنش آبی گیاه استفاده کرد.[۷]

$$CWSI=1-\frac{E_a}{E_p}=\frac{\gamma\left(1+\frac{r_c}{r_a}\right)-\gamma\left(1+\frac{r_{cp}}{r_a}\right)}{\Delta+\gamma\left(1+\frac{r_c}{r_a}\right)} \qquad (۱۲)$$

نسبت $\frac{r_c}{r_a}$ و مقاومت گیاه در حالت تعرق پتانسیل (r_{cp}) از روابط زیر محاسبه می گردد:

$$\frac{r_c}{r_a}=-1+\frac{VPD+\Delta(T_C-T_a)_m}{\gamma[(T_C-T_a)_{u.l}-(T_C-T_a)_m]} \qquad (۱۳)$$

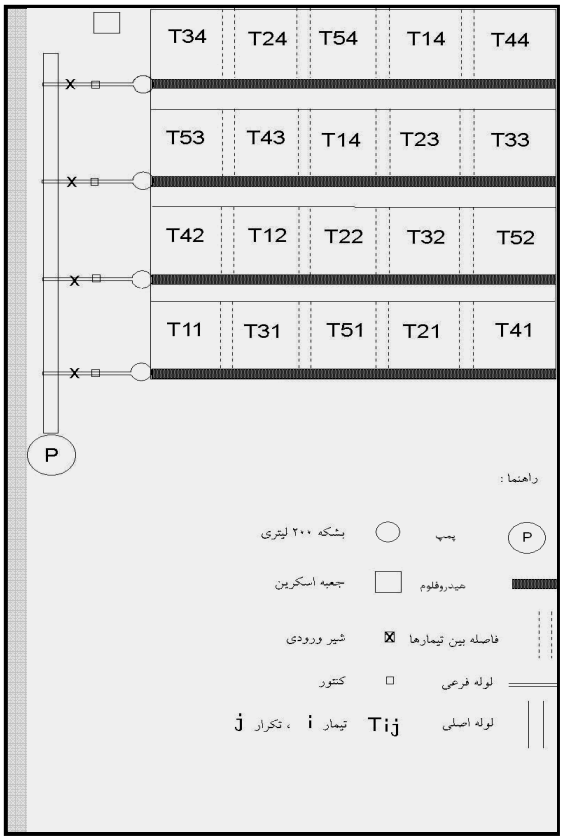
$$r_{cp} = -\frac{6000\ \rho.C_p.a}{\overline{R_n}.b\left(\overline{\Delta}+\frac{1}{b}\right)}\left[\frac{\overline{\Delta}+\frac{1}{b}}{\gamma}+1\right] \qquad (۱۴)$$

۳-مواد و روش‌ها:

آزمایش در مزرعه تحقیقاتی صفی آباد دزفول بر روی ذرت بهاره انجام شد ابعاد مزرعه آزمایشی ۵۰×۵۰ متر مربع و روش آبیاری جویچه‌ای، با استفاده از لوله و کنتور و هیدروفلوم در بهمن ماه سال زراعی ۱۳۸۰ انجام گرفت جهت بررسی اثرات مختلف دور آبیاری، رژیم آبیاری متفاوت و بر مبنای تبخیر تجمعی از تشت تبخیر شامل (T1)۵۰، (T2)۷۰، (T3)۹۰، (T4)۱۱۰ و (T5)۱۳۰ میلیمتر منظور گردید هر تیمار شامل یازده جویچه به طول ۱۰ متر که به صورت انتها بسته آبیاری می‌شد. جهت تحلیل آماری طرح مورد نظر به صورت طرح بلوک های کامل تصادفی و در چهار تکرار انجام گردید. شکل (۲) جانمایی طرح را نشان می دهد. جهت اندازه‌گیری درجه حرارت پوشش سبز گیاه با استفاده از دماسنج مادون قرمز تفنگی مدل K.M.823 انجام گرفت و جهت تعیین کمبود فشار بخار از سایکرومتر که شامل دو دماسنج تر و خشک است و در یک جعبه اسکرین قرار گرفته بود استفاده گردید؛ به منظور تعیین خط مبنای پایینی، اندازه‌گیری پارامترهای مورد نیاز در تیمار ۱و۲ در حد فاصل ۸ صبح الی ۱۳ بعد از ظهر و به فاصله زمانی ۱ ساعت در روزهای مختلف از اردیبهشت و خرداد ماه انجام شد.

علاوه بر آن در روزهای قبل از انجام آبیاری، دو پارامتر اختلاف درجه حرارت گیاه و هوا و همچنین کمبود فشار بخارهوا برای ۵ تیمار آبیاری در فاصله زمانی ۱۳ الی ۱۴ بعد از ظهر جهت تعیین شاخص تنش آبی اندازه گیری شد علاوه بر پارامترهای مذکور در روزهای قبل از آبیاری، آمار میزان تشعشع رسیده با طول موج کوتاه و سرعت باد در ارتفاع۱۰ متری از ایستگاه هواشناسی مرکز تحقیقات دریافت گردید.

لازم به ذکر است که رطوبت خاک به منظور محاسبه کمبود رطوبتی خاک و حجم آب آبیاری نمونه برداری خاک (در محدوده توسعه ریشه تا عمق ۶۰ سانتی متر) و در روزهای قبل از آبیاری اندازه گیری می شد و پس از آن حداکثر کمبود رطوبتی روزانه خاک جهت انجام آبیاری در روز بعد محاسبه می گردید.



شکل ۲- جانمایی طرح

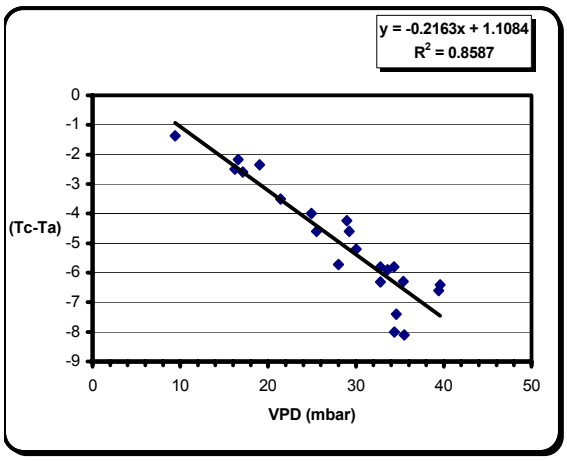
۴- نتایج و بحث:

معادلات خط مبنای پایینی با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام شده در روزهای بعد از انجام آبیاری و مطابق شکل‌های شماره (۳ و۴) محاسبه شد این معادلات بر اساس رگرسیون بین کمبود فشار بخار و اختلاف درجه حرارت گیاه و هوا در ماههای اردیبهشت و خرداد به صورت جداگانه به ترتیب به صورت زیر ارائه می‌شود:

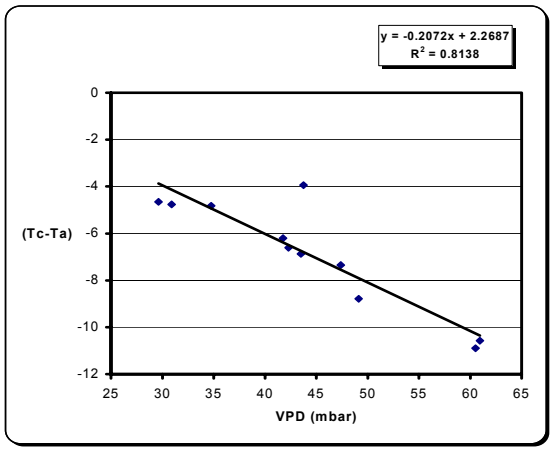
$$(T_c - T_a)_{L.L} = 1.1 - 0.216.VPD \qquad r=0.95 \quad n=22 \qquad (۱۵)$$

$$(T_c - T_a)_{L.L} = 2.28 - 0.207.VPD \qquad r=0.9 \quad n=15 \qquad (۱۶)$$

بر اساس اندازه‌گیری به عمل آمده ،مقدار تغییرات کمبود فشار بخار هوا درمنطقه از ۱۰ میلی بار تا حدود ۷۰ میلی بار متغیر می‌باشد و ارتباط خطی بین این دو فاکتور بیانگر آن بود که با افزایش کمبود فشار بخار هوا (که همزمان با افزایش دمای هوا صورت می‌گیرد)، اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا کاهش پیدا می‌کرد به عبارت دیگر همزمان با کاهش کمبود فشار بخار و افزایش تبخیر و تعرق روزانه، تبادل حرارتی بیشتری انجام شده که نهایتاً اندام های گیاه خنک نگه داشته می‌شوند. مکانیسم فوق به صورت روزانه درکلیه گیاهان انجام می‌شود؛ ضمناً موقعیت خط مبنای بالایی نیز با استفاده از روش پیشنهادی ایدسو و بر اساس ضرائب معادلات خط مبنای پایینی به ترتیب ۲و۴/۵ درجه سانتی گراد در ماههای اردیبهشت و خرداد محاسبه شد.



شکل (۳) خط مبنای پایینی در اردیبهشت ماه



شکل (۴) خط مبنای پایینی در خرداد ماه

شاخص تنش آبی گیاه به روش Idso (۱۹۸۱):

اندازه‌گیری پارامترهای اختلاف درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا ($T_c - T_a$) و کمبود فشار هوا (VPD) برای ۲۳ روز مختلف در تیمارهای مختلف انجام شد. با استفاده از این اطلاعات با در اختیار داشتن معادلات خط مبنای پائینی و بالائی در دو ماه اردیبهشت و خرداد، شاخص تنش آبی گیاه در دو ماه اردیبهشت و خرداد محاسبه گردید که در جدول (۱) گنجانده شده است. مقدار این شاخص بیانگر میزان تنش وارده به تیمارهای مختلف می‌باشد. مقدار متوسط کمبود فشار بخار ماهیانه باتوجه به اندازه‌گیری‌های ترمومترهای تر و خشک در روز قبل از آبیاری، در ماه اردیبهشت ۳۰ میلی بار و در ماه خرداد ۵۰ میلی بار محاسبه شد. مطابق نتایج ارائه شده در جدول (۱) کمترین مقدار شاخص تنش آبی گیاه در تیمار ۵۰ میلی متر برابر ۰/۱ و بیشترین آن در تیمار ۱۳۰ میلی متر برابر ۰/۵۴ محاسبه شد.

جدول (۱)-شاخص تنش آبی گیاه به روش Idso در دو ماه اردیبهشت و خرداد

اردیبهشت	$T_c - T_a = 1.1 - 0.216.VPD$				
تیمار(mm)	۵۰	۷۰	۹۰	۱۱۰	۱۳۰
$(T_c - T_a)_m$	-۴/۹	-۳/۸۵	-۱/۸۲	-۱/۵	۱-
VPD	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
$(T_c - T_a)_{u.l}$	۲	۲	۲	۲	۲
$(T_c - T_a)_{l.l}$	-۵/۳۸	-۵/۳۸	-۵/۳۸	-۵/۳۸	-۵/۳۸
$CWSI_1$	۰/۰۶۵	۰/۲۰۷	۰/۴۸	۰/۵۱۹	۰/۵۹
خرداد	$T_c - T_a = 2.28 - 0.2074.VPD$				
تیمار(mm)	۵۰	۷۰	۹۰	۱۱۰	۱۳۰
$(T_c - T_a)_m$	-۶/۳	-۵/۵	-۴/۲	-۳	-۲
VPD	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰
$(T_c - T_a)_{u.l}$	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵	۴/۵
$(T_c - T_a)_{l.l}$	-۸/۱	-۸/۱	-۸/۱	-۸/۱	-۸/۱
$CWSI_2$	۰/۱۴	۰/۲۰۶	۰/۳۱	۰/۴	۰/۴۸۴
$\overline{CWSI_i}$	۰/۱	۰/۲۱	۰/۴	۰/۴۶	۰/۵۴

برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه:

مطابق نتایج بدست آمده تیمار ۲ با توجه به بالا بودن مقادیر عملکرد محصول و کارآیی مصرف آب، اساس برنامه‌ریزی آبیاری قرار گرفت از طرفی شاخص تنش آبی گیاه به روش Idso و از جدول (۱) برای این تیمار ،۰/۲۱ محاسبه گردید. که با توجه به آن و رابطه (۱۷)، روابط (۱۸) و (۱۹) جهت برنامه‌ریزی آبیاری ارائه می گردد. برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس این روابط نهایتاً به گونه‌ای تنظیم خواهد شد که حداکثر تنش وارده از ۲۱ درصد تجاوز ننماید.

$$C.W.S.i = \frac{(T_c - T_a)_m - \{a - b(VPD)_m\}}{(T_c - T_a)_{u.l} - \{a - b(VPD)_m\}} \qquad (۱۷)$$

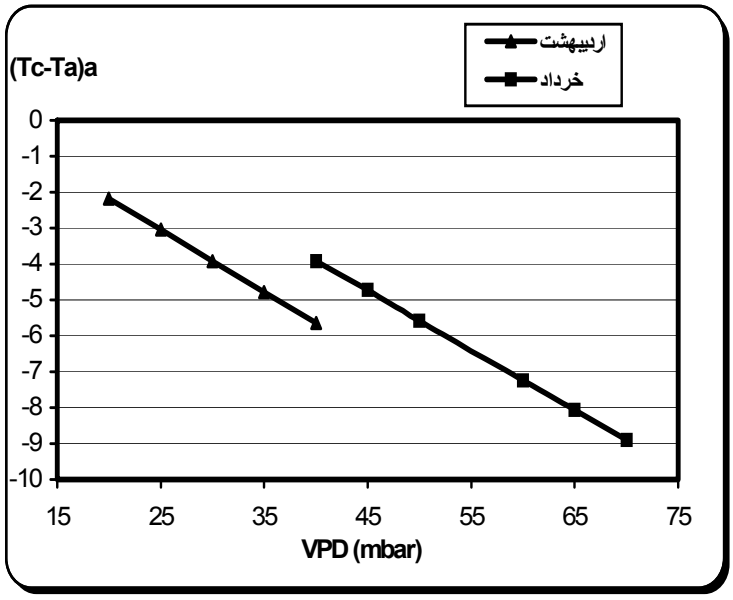
هر کدام از اجزا این رابطه قبلاً بیان گردید رابطه فوق با توجه به مقدار شاخص آبی گیاه در تیمار(T2) ۷۰ میلیمتر و معادله خط مبنای پائینی در دو ماه اردیبهشت و خرداد به صورت زیر ارائه می‌شود.

$$(T_c - T_a)_a = 1.28 - 0.173.VPD \qquad 20 \le VPD \le 40 mbar \qquad (۱۸)$$

$$(T_c - T_a)_a = 2.724 - 0.166.VPD \qquad 40 \le VPD \le 70 mbar \qquad (۱۹)$$

معادله (۱۸) در ماه اردیبهشت با دامنه تغییرات کمبود فشاربخار آب ۲۰ الی ۴۰ میلی بار و معادله (۱۹) در ماه خرداد با دامنه تغییرات کمبود فشاربخار آب ۴۰ الی ۷۰ میلی بار استفاده می‌شود. جهت برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی ایدسو، رابطه خطی بین کمبود فشار بخار آب و اختلاف مجاز درجه حرارت پوشش سبز گیاه و هوا $(T_c - T_a)_a$ در این دو ماه و با توجه به معادلات (۱۸) و (۱۹) در شکل (۵) ارائه شده است.

برای تشخیص زمان فرا رسیدن آبیاری مقادیر درصد رطوبت نسبی و یا کمبود فشار بخار آب هوا را در ساعت ۱۳ الی ۱۴ اندازه‌گیری نموده و سپس $(T_c - T_a)_a$ مجاز به کمک شکل (۵) تعیین می‌شود. از مقایسهٔ $(T_c - T_a)_m$ اندازه‌گیری شده با $(T_c - T_a)_a$ مجاز می‌توان زمان فرا رسیدن آبیاری را تشخیص داد به طوری که اگر مقادیر اندازه‌گیری شده کوچکتر از مقادیر محاسبه شده باشد، مفهوم آن این است که زمان آبیاری فرا نرسیده است. بلعکس در شرایطی که مقادیر اندازه‌گیری بزرگتر از مقادیر محاسبه شده باشد، بدین معنی است که زمان آبیاری گذشته است. لازم به ذکر است که $(T_c - T_a)_m$ اندازه‌گیری شده می بایست در شرایط حداکثر تنش روزانه بین ساعت ۱۳ الی ۱۴ انجام گردد.



شکل (۵) برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از شاخص تنش آبی به روش Idso

برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از یک مدل چند متغیره:

براساس ارتباط بین پارامترهای اختلاف درجهٔ حرارت پوشش سبزگیاه و هوای مجاور $(T_c - T_a)$، رطوبت نسبی (RH)، تشعشع خالص(R_n) و نسبت تخلیهٔ رطوبتی خاک (MD) و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین در تیمارهای پنج گانهٔ آبیاری یک مدل ارائه گردید که این مدل با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره بین پارامترهای مذکور مورد بررسی قرار گرفت.لازم به ذکر است که نسبت تخلیهٔ رطوبتی از رابطهٔ زیر محاسبه شد.

$$MD = \frac{Fc - \theta}{Fc - PWP} \qquad (۲۰)$$

در این رابطه Fc و PWP به ترتیب ظرفیت زراعی و نقطهٔ پژمردگی گیاه و θ متوسط رطوبت وزنی در محدوده ۶۰ سانتی متری از پروفیل خاک می‌باشد. در مدل مورد بحث $(T_c - T_a)$ به عنوان متغیر وابسته و چهار فاکتور دیگر به عنوان متغیر مستقل دخالت دارند. هدف کلی از استخراج این مدل آن است که با اندازه گیری پارامتر های مذکور، زمان آبیاری را طوری تنظیم نمود که از ایجاد تنش آبی بالاتر از حد مجاز جلوگیری گردد. اطلاعات متغیرهای مستقل و وابسته با توجه به اندازه‌گیری‌های به عمل آمده در زمان حداکثر تنش روزانه (ساعت ۱۲ الی ۱۴) و در روزهای قبل از آبیاری ماه‌های اردیبهشت و خرداد از پنج تیمار مختلف آبیاری به تعداد ۲۳ سری منظور گردید. رگرسیون خطی چند متغیره (multiple linear regression) جهت بررسی ارتباط بین متغیر های مذکور بوسیله نرم افزار SPSS انجام شد که نتایج حاصل از اجرای نرم افزار به صورت معادله رگرسیون با ضریب همبستگی ۰/۸۴ به صورت زیر ارائه شده است.

$$(T_c - T_a) = -15 + 3.8860R_n + 0.1430RH + 7.3290MD - 0.1840V \quad \text{n= 23 و } r = 0.84 \qquad (۲۱)$$

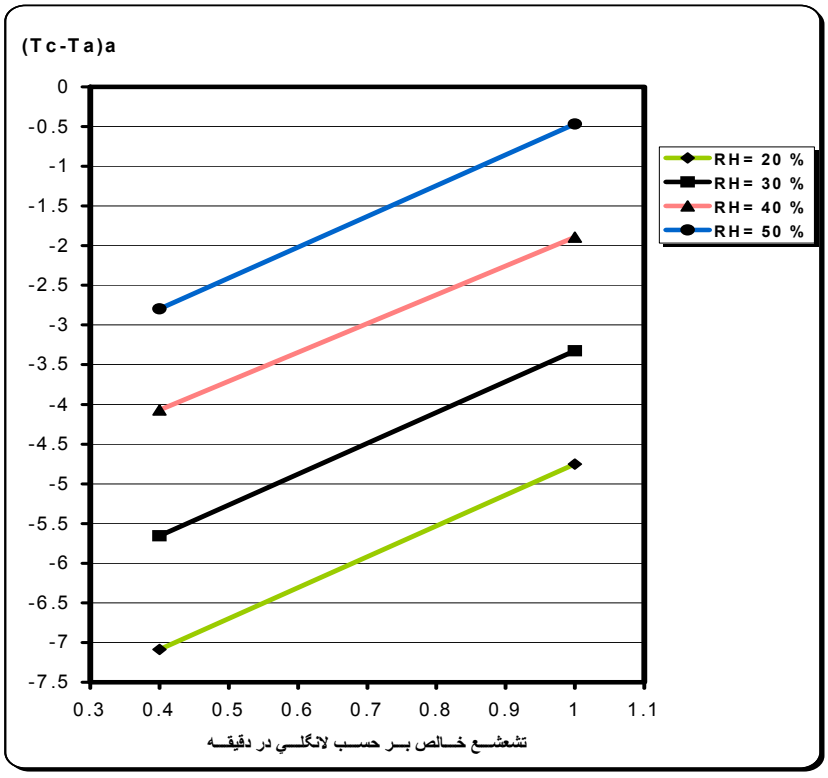
که در این رابطه $(T_c - T_a)$ اختلاف درجهٔ حرارت پوشش سبز گیاه و هوا بر حسب درجهٔ سانتی‌گراد، R_n تشعشع خالص خورشیدی بر حسب لانگلی در دقیقه $\left(cal.cm^{-2}.\min^{-1}\right)$و RH رطوبت نسبی برحسب درصد، MD نسبت تخلیه رطوبتی خاک به صورت اعشاری وv سرعت باد در ارتفا ع ۱۰ متری، بر حسب متر بر ثانیه $m.s^{-1}$ می‌باشند.

جهت ساده تر شدن استفاده از رابطه فوق و براساس آنالیز حساسیت انجام شده نهایتاً حداکثر سرعت باد از معادله حذف و متوسط آن در طول این ماه‌ها (۵ متر بر ثانیه) منظور شد. ضمناً متوسط نسبت تخلیه

رطوبتی خاک در تیماری که بالاترین کارایی مصرف آب را داشته (T2) و با متوسط ۶۰ درصد در طول دوره رشد منظور گردید بنابراین رابطه (۲۱) به صورت رابطه زیر خلاصه گردید:

$$(T_c - T_a)_a = -11.5 + 3.886.R_n + 0.143.RH \qquad (۲۲)$$

چون این رابطه بر اساس حداکثر مقدار مجاز تخلیه رطوبتی خاک (MAD) انجام می‌شود بنابراین $(T_c - T_a)_a$ حد آستانه تنش مجاز می‌باشد. بنابراین برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از رابطه فوق به گونه‌ای انجام می‌شود که تنش وارده به گیاهان از حداکثر تنش مجاز $(T_c - T_A)_a$ تجاوز نکند.



شکل (۶) برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از مدل چند متغیره خطی

شکل (۶) ارتباط بین پارامترهای $(T_c - T_a)_a$, RH , R_n با استفاده از معادله (۲۲) نشان می‌دهد. در این شکل دامنه تغییرات R_n , RH با توجه به شرایط منطقه ساعت (۱۲ الی ۱۴)، و با استفاده از اطلاعات جمع‌آوری شده انتخاب گردیده است. برای تشخیص زمان فرا رسیدن آبیاری می‌بایست مقادیر R_n ،RH و $(T_c - T_a)$ را در ساعت ۱۳ الی ۱۴(حداکثر تنش روزانه) اندازه‌گیری نمود. سپس با در اختیار داشتن دو پارامتر R_n , RH می‌توان مقدار $(T_c - T_a)_a$ مجاز را بوسیله شکل (۶) تعیین نمود.

مقایسه $(T_c - T_a)$ اندازه‌گیری شده در شرایط مزرعه با $(T_c - T_a)_a$ مجاز، شاخص خوبی جهت فرا رسیدن زمان آبیاری خواهد بود به طوری که اگر مقدار اندازه‌گیری شده کوچکتر از مقدار $(T_c - T_a)_a$ مجاز باشد مفهوم آن این است که زمان آبیاری فرا نرسیده است. و بلعکس اگر مقدار اندازه‌گیری شده بزرگتر از مقدار $(T_c - T_a)_a$ مجاز باشد بدین معنی است که زمان آبیاری گذشته است و تنش وارد شده از حداکثر مجاز تجاوز کرده است. گیسر و همکاران (۱۹۸۲)، سپاسخواه و همکاران (۱۹۸۷) و سپاسخواه و کاشفی پور (۱۹۹۴) با ارائه مدل های مشابهی برای پنبه، چغندر قند و لیمو شیرین و انجام آزمایشات لازم نتیجه‌گیری نمودند که با استفاده از این روش جهت تعیین زمان آبیاری ضمن آن که میزان محصول را به طور معنی‌دار کاهش نمی‌دهد؛ باعث بهبود در کار آیی مصرف آب خواهند شد. سادگی استفاده از این مدل‌ها که تنها توسط اندازه گیری پاره ای اطلاعات جوی و $(T_c - T_a)$ انجام می‌شود از محاسن آن مهم ذکر شد.[۱۰و۱۱]

قدردانی:

بدین وسیله از مرکز تحقیقات صفی آباد دزفول به خاطر تامین نیروها و امکانات اجرایی طرح، تقدیر و تشکر بعمل می‌آید.

۵-مراجع:

۱. طاهری قناد ،س.برومند نسب، 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 اهواز.

۲. برومند نسب، س؛ طاهری قناد،س. و معیری، م.۱۳۸۳.«استفاده از درجه حرارت پوشش سبز گیاه برای برنامه ریزی آبیاری ذرت بهاره در شرایط شمال خوزستان». مجله علمی کشاورزی، دانشکده کشاورزی اهواز ،۲۷:۴۷-۵۶

۳. علیزاده ،ا.۱۳۸۰.رابطه آب و خاک و گیاه. انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا.۳۵۵ص

4. Alderfasi A.A., Nielsen D.C., 2001. Use of Crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in water , Agricultural water management. 47:69-75.
5. Al faraj A., Meyer G.E., Horst G.L., 2001 , A Crop water stress index fall fescue irrigation decision - making a traditional method , computer and Electronics in Agriculture. 31:107-124.
6. Idso S.B., Jackson R.D., pinter p.j., Reginato R.J., Hatfield J.L., 1981, Normalizing the stress -degree day parameter for environment variability , Agric. Meteorol., 24:45-55.

7. Jackson S.H., 1991, Relationships between normalized leaf water potential and crop water stress index valuesfor acala cotton , Agric. Water Manag., 20:109-118.
8. Qiu, G.Y., Miamoto, K., Sase, S.,Okushima, 2000, Detection of crop transpiration and water stress by temperature-related approach under field and greenhouse condition, corresponding auther: (alaguoyu@nkk.affrc.go.jp.,fax+81-298-38-7609).
9. Qiu.y, Momli Yano, 1996 ,Estimation of plant transpiration by imitation leaf temperature theoretical consideration and field verification , Tran. Japanese Soc. Of irrig. Drainage and Reclamation ENG. 183:47-56.
10. Sepaskhah A.R., Kashefipour S.M.,1994 , Relationships between leaf water potential, CWSI, yield fruit quality of sweet line unde drip irrigation, Agric. Water manage, 25:13-22.
11. Sepaskhah A.R.,Nazemossadat,S.M.J.,Kamgar-Haghighi,A.A.,1987 Water stress of sugarbeet as related to leaf water content ,Iran Agric.Res.,6:29-43.