

برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی ذرت علوفه‌ای در مراحل مختلف رشد با استفاده از اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا

وحیدرضا وردی‌نژاد^{۱*} - سینا بشارت^۲ - هیراد عبقری^۳ - حجت احمدی^۴

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۱/۲

تاریخ پذیرش: ۹۰/۵/۳۰

چکیده

در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل محدودیت منابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری به منظور استفاده بهینه از آب موجود اهمیت زیادی دارد. در این تحقیق به منظور برآورد تخلیه مجاز رطوبتی و برنامه‌ریزی آبیاری ذرت علوفه‌ای بر اساس اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا، آزمایش مزرعه‌ای در دانشکده کشاورزی کرج انجام گردید. خط مبنای پایین (حداکثر تعرق) و خط مبنای بالا (تعرق صفر) به ترتیب توسط یک تیمار مرطوب (حفظ رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی) و یک تیمار خشک (تخلیه کامل آب قابل استفاده) تعیین گردید. برای برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی و برنامه‌ریزی آبیاری، چهار تیمار تخلیه رطوبت تا نقطه پژمردگی دایم در چهار دوره رشد گیاه شامل مراحل استقرار، رویشی، گلدهی و رسیدن و با سه تکرار در نظر گرفته شد. پارامترهای اندازه‌گیری شده شامل دمای تر و خشک هوا، دمای پوشش سبز گیاه، رطوبت نسبی هوا، عمق توسعه ریشه، رطوبت خاک منطقه توسعه ریشه و فشار بخار هوا بود و بر اساس آنها معادلات خطوط مبنای پایین و بالا برای ذرت علوفه‌ای استخراج گردید. بر اساس اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا برای چهار تیمار تخلیه رطوبت تا حد پژمردگی دایم و مقایسه آن با تیمار مرطوب، حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی ذرت علوفه‌ای برای چهار دوره رشد به ترتیب ۴۲/۸، ۵۹/۲، ۵۸/۹ و ۶۷/۵ درصد به دست آمد. بر اساس اختلاف دمای هوا و پوشش گیاه بر مبنای تیمار خشک، موقعیت خط مبنای تعرق صفر برای ذرت علوفه‌ای ۳/۲+ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. به منظور برنامه‌ریزی آبیاری طی مراحل مختلف رشد، شاخص تنش آبی گیاه بکار گرفته شد و برای هر دوره رشد، زمان آبیاری به روش مستقیم دمای پوشش سبز تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی آبیاری، تبخیر و تعرق، دمای پوشش سبز گیاه، ذرت علوفه‌ای، کرج

مقدمه

گیاه^۵ یکی از شاخص‌های مرتبط با گیاه است که نشان دهنده تنش آبی و شدت تعرق در گیاه می‌باشد. با توجه به انرژی خواه بودن فرایند تبخیر، انرژی لازم جهت انجام عمل تبخیر و تعرق از طریق تشعشع خورشید تأمین و در طی این عمل، گیاه آب را از محیط خاک جذب و از روزنه‌ها به صورت بخار خارج می‌کند. در هنگام انجام عمل تعرق، آب سلول‌های زیر روزنه‌ها از محیط اطراف انرژی کسب نموده و تبخیر می‌گردند و در نتیجه این فرایند، دمای پوشش سبز گیاه کاهش می‌یابد. انرژی لازم برای تبخیر هر گرم آب ۵۸۵ کالری می‌باشد. در صورتی که رطوبت خاک کاهش یابد و گیاه آب کافی برای انجام عمل تعرق، در اختیار نداشته باشد، در این صورت در اثر عدم تناسب بین عمل تعرق و جذب آب توسط ریشه، میزان مکش آب در آوندهای چوبی بالا رفته و در نتیجه باعث بسته شدن روزنه‌ها و

برنامه‌ریزی آبیاری به معنای تعیین زمان و مقدار آب آبیاری لازم در هر نوبت آبیاری طی طول دوره رشد گیاه می‌باشد. یکی از راهکارها در زمینه استفاده بهینه از منابع آب، برنامه‌ریزی آبیاری محصولات کشاورزی می‌باشد. مبنای برنامه‌ریزی آبیاری محصولات عبارتند از: شاخص‌های مرتبط با خاک، مرتبط با گیاه و روش بیلان آب. برنامه‌ریزی با استفاده از شاخص‌های گیاه، یک روش مستقیم برای تعیین زمان آبیاری می‌باشد، زیرا اولین تأثیر کمبود رطوبت در خاک، بلافاصله در اندام‌های گیاه ظاهر می‌شود. دمای پوشش سبز

۴۰۲،۱- استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(Email: verdinejad@gmail.com)

(* نویسنده مسئول)

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه

مبنای بالا علاوه بر روش تیمار خشک در مزرعه و اندازه‌گیری همزمان دمای پوشش سبز گیاه و هوا، روش تئوری نیز وجود دارد. برای این منظور مقدار شیب فشار بخار^۳ (AVPG) را بر اساس رابطه ۲ استخراج و سپس خط مبنای پایین را به اندازه شیب فشار بخار در قسمت منفی محور AVPD ادامه داده، سپس از انتهای خط مبنای پایین موازی محور AVPD ترسیم نموده که خط حاصل خط مبنای بالا خواهد بود (۱۳).

$$AVPG = e_c^* - e_a^* \quad (۲)$$

که در آن e_c^* فشار بخار اشباع در دمای گیاه و e_a^* فشار بخار اشباع در دمای هوا و بر حسب میلی‌بار می‌باشند. یک روش برنامه‌ریزی آبیاری محصولات، برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی^۴ (MAD) است که برای هر محصول و دوره رشد آن متفاوت می‌باشد. شاخص $(T_c - T_a)$ ، دقیقاً وضعیت تنش آبی را در گیاه مشخص می‌کند و تابعی از پارامترهای هواشناسی و اقلیمی و خصوصاً تنش‌های محیطی در خاک می‌باشد. در اثر تنش‌های محیطی، عمل تعرق گیاه کاهش و یا متوقف می‌شود که در نتیجه آن، $(T_c - T_a)$ افزایش می‌یابد. با داشتن $(T_c - T_a)$ و AVPD، میزان تنش آبی وارد به گیاه با استفاده از شاخص تنش آبی گیاه (CWSI) و بر اساس رابطه زیر تعیین می‌شود (۱۳):

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{LL}}{(T_c - T_a)_{UL} - (T_c - T_a)_{LL}} \quad (۳)$$

که در آن $(T_c - T_a)$ اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا، $(T_c - T_a)_{LL}$ اختلاف دمای پوشش سبز و هوا در شرایط حداکثر تعرق (واقع بر خط مبنای پایین) و $(T_c - T_a)_{UP}$ اختلاف دمای پوشش سبز و هوا در شرایط حداقل تعرق (واقع بر خط مبنای بالا) می‌باشد. تنش‌های محیطی می‌تواند ناشی از تنش ماندابی (کمبود اکسیژن)، خشکی و یا شوری خاک باشد. رابطه بین شاخص تنش آبی گیاه و شدت تبخیر و تعرق به صورت رابطه زیر می‌باشد (۱۳):

$$CWSI = 1 - \frac{ET}{ET_p} \quad (۴)$$

که در آن ET_p و ET به ترتیب تبخیر و تعرق پتانسیل و واقعی گیاه می‌باشند.

یک روش متداول برای برنامه‌ریزی آبیاری تعیین رابطه‌ای بین شاخص‌های گیاهی و شاخص‌های مربوط به خاک می‌باشد که یکی از این روش‌ها حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی در هر دوره از رشد محصول می‌باشد. کاربرد این روش زمانی است که محدودیت محیطی تنها تنش رطوبتی باشد. اما این شرایط همواره برقرار نبوده و ممکن است که محدودیت‌های محیطی دیگری غیر از تنش آبی وجود داشته باشد.

کاهش عمل تعرق می‌گردد که نتیجه آن به‌صورت افزایش دمای پوشش سبز ظاهر می‌شود (۲، ۱۱ و ۱۷). دمای پوشش سبز گیاه تحت تأثیر عواملی از قبیل سرعت باد، رطوبت نسبی هوا و میزان تشعشع دریافتی می‌باشد (۱۷). هاول و همکاران (۱۰)، دمای پوشش سبز پنبه را به عنوان شاخص خوبی برای بیان تنش آبی گیاه (در اثر خشکی یا شوری خاک) بیان کردند. گاردنر و همکاران (۸) بیان کردند که دمای پوشش سبز گیاه در طول روز افزایش و در ساعت ۱۳ الی ۱۵ به حداکثر مقدار خود می‌رسد. جونز و دمرس (۱۵) نیز دمای پوشش سبز گیاه را به عنوان شاخصی برای تعیین میزان بازشدگی روزنه‌های گیاه لوبیا برای اندازه‌گیری تنش آبی گیاه به منظور برنامه‌ریزی آبیاری در مناطق مرطوب استفاده کردند. الدر فاسی و نیلسن (۵) در برنامه‌ریزی آبیاری گندم، از دمای پوشش سبز گیاه برای ارزیابی شاخص تنش رطوبتی و تعیین وضعیت آن استفاده کردند. کارایی شاخص تنش رطوبتی گیاه^۱ (CWSI) در برنامه‌ریزی آبیاری هندوانه به روش آبیاری قطره‌ای توسط ارتا و همکاران (۱۶) مورد بررسی قرار گرفت. آنها پنج سطح آبیاری شامل کاهش رطوبت خاک به اندازه صفر، ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد را در نظر گرفتند و رابطه‌ای بین CWSI و عملکرد محصول ارائه دادند. ایدسو و همکاران (۱۱) از اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا که بوسیله دماسنج مادون قرمز اندازه‌گیری شده بود، به عنوان شاخصی برای تعیین وضعیت آبی گیاه استفاده نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که زمانی که گیاه کمبود آب نداشته باشد اختلاف پوشش سبز گیاه (T_c) و دمای هوا (T_a)، منفی می‌باشد ($\Delta T = T_c - T_a < 0$) و زمانی که گیاه تحت تنش آبی شدید باشد، اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا مقداری مثبت می‌گردد ($\Delta T = T_c - T_a > 0$). ایدسو و رگیناتو (۱۴) از شاخص تنش آبی گیاه برای برنامه‌ریزی آبیاری استفاده کردند. این شاخص وضعیت آب در گیاه را بر اساس اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا بیان می‌کند. ایدسو برای تشریح شاخص تنش آبی گیاه، رابطه‌ی خطی بین $(T_c - T_a)$ و کمبود فشار بخار هوا^۱ (AVPD) ارائه داد:

$$T_c - T_a = a + b \times (AVPD) \quad (۱)$$

که در آن T_c و T_a به ترتیب دمای هوا و دمای پوشش سبز گیاه، AVPD کمبود فشار بخار هوا و a و b ضرایب ثابت رگرسیون می‌باشند. خطی که مطابق رابطه ۱ برای هر گیاه استخراج می‌شود، مشخص کننده مکان هندسی نقاطی است که مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل (حداکثر) می‌باشد که اصطلاحاً خط مبنای پایین یا خط مبنای بدون تنش نامیده می‌شود. مقدار حداکثر $(T_c - T_a)$ که بیان کننده توقف کامل عمل تعرق گیاه و مستقل از کمبود فشار بخار هوا می‌باشد، نشان دهنده خط مبنای بالا است. برای تعیین موقعیت خط

3- Air Vapor Pressure Gradient

4- Maximum Allowable Deficit (or: Management Allowed Depletion)

1-Crop Water Stress Index

2- Air Vapor Pressure Deficit

کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۵۰ کیلوگرم در هکتار کود فسفات به زمین داده شد. طول دوره رشد این رقم در اقلیم کرج حدود ۱۲۰ روز می‌باشد. برای تعیین خط مبنای پایین که در آن تعرق پتانسیل توسط گیاه صورت می‌گیرد، یک تیمار مرطوب (A1) در نظر گرفته شد. بر اساس بررسی منابع، دامنه تغییرات حداکثر کاهش مجاز رطوبت خاک برای ذرت ۸۰-۴۰ درصد گزارش گردیده که در این تحقیق به منظور اطمینان بیشتر از وارد نشدن تنش به گیاه در تیمار A1، مبنای دور آبیاری، تخلیه ۴۰ درصد آب قابل دسترس فرض گردید تا اینکه گیاه همواره تعرق پتانسیل را داشته باشد. به منظور تعیین خط مبنای بالا، یک تیمار خشک (A2) در نظر گرفته شد و اندازه‌گیری‌های مربوط به این تیمار زمانی صورت گرفت که رطوبت خاک در آستانه پژمردگی دایم بوده؛ به طوری که گیاه حداقل تعرق (تقریباً صفر) را داشته باشد. به منظور برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی در مراحل مختلف رشد و همچنین برنامه‌ریزی آبیاری، چهار تیمار تخلیه رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا آستانه پژمردگی دایم و طی چهار دوره رشد گیاه در نظر گرفته شد. این چهار تیمار به ترتیب در مراحل استقرار گیاه (A3)، رشد رویشی (A4)، گلدهی (A5) و مرحله رسیدن دانه (A6) اعمال گردید. رطوبت خاک برای همه تیمارهای فوق به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری رطوبت به روش وزنی و با برداشت نمونه خاک از عمق توسعه ریشه انجام گردید. برای این منظور نمونه مرطوب در محل نمونه‌برداری وزن گردید و سپس به آون در آزمایشگاه منتقل و بعد از ۲۴ ساعت رطوبت محاسبه گردید. پارامترهای هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرج، واقع در مزرعه تحقیقاتی و همزمان با اندازه‌گیری دمای پوشش سبز گیاه، قرائت گردید. پارامترهای هواشناسی اندازه‌گیری شده شامل دمای تر و خشک هوا بوده که همزمان با قرائت دمای پوشش سبز، اندازه‌گیری و براساس آنها رطوبت نسبی هوا و کمبود فشار بخار هوا محاسبه گردید. مبنای دور آبیاری در تیمارهای A3 تا A6 کاهش رطوبت خاک تا حد نقطه پژمردگی دایم بود که با برداشت روزانه نمونه خاک از منطقه ریشه و اندازه‌گیری رطوبت آن، انجام گردید. در جدول ۲ پارامترهای اندازه‌گیری شده یا جمع‌آوری شده و تعداد دفعات نمونه‌گیری ارائه شده است. با توجه به اینکه دمای پوشش سبز گیاه در طول روز افزایش و در ساعت ۱۳ الی ۱۵ به حداکثر مقدار (حداکثر تنش آبی) می‌رسد (۸)؛ لذا مبنای محاسبات، اختلاف دمایی مد نظر قرار گرفت که تنش آبی گیاه حداکثر گردد. با توجه به اینکه اعداد قرائت شده توسط دماسنج مادون قرمز تحت تأثیر جهت تابش خورشید قرار می‌گیرند، اندازه‌گیری‌های دما از چهار جهت جغرافیایی صورت گرفت (۱۵).

به عنوان مثال در شرایط شوری منابع آب و یا خاک، از کارایی روش‌های مبتنی بر خاک کاسته می‌گردد. در این شرایط یک روش بکارگیری شاخص CWSI است. این شاخص معیاری است که ارتباط بین مقدار تعرق گیاه و قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر را نشان می‌دهد. لذا تأثیر تمام تنش‌های محیطی مؤثر بر تعرق گیاه را نشان می‌دهد. MAD ذرت دانه‌ای بر اساس تحقیقاتی در کلرادو امریکا، از شروع جوانه زنی تا چهار برگی گیاه ۵۰ درصد، از چهار برگی تا ۱۶ برگی (شروع کاکل‌دهی) ۷۰-۶۰ درصد گزارش گردید. طبق همین تحقیقات، MAD در ادامه رشد روند کاهش داشته و از مرحله ۱۶ برگی تا خمیری شدن دانه‌ها به ۵۰ درصد و از این مرحله تا رسیدن افزایش و به ۷۰-۶۰ درصد افزایش می‌یابد (۶). در اکثر منابع MAD ذرت علوفه‌ای طی دوره رشد، مقدار ثابت فرض گردیده است و با این فرض، مقدار آن استخراج شده است. جارالهی و مهدویان (۱)، حداکثر تخلیه مجاز ذرت را برای مرحله استقرار ۴۰ درصد و برای مراحل رویشی، گلدهی ۵۵ تا ۶۵ درصد و برای دوره رسیدن دانه ۸۰ درصد گزارش نمودند. نشریه فائو ۵۶، MAD ذرت علوفه‌ای را طی رشد آن ۵۵ درصد گزارش کرده است (۴). علیزاده (۳)، مقدار MAD را برای ذرت دانه‌ای ۶۵ درصد گزارش کرده است؛ این در حالی است که گیاه در مراحل مختلف رشد، ممکن است که عکس عمل‌های متفاوتی نسبت به کم آبی داشته باشد.

اهداف این تحقیق عبارتند از برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی ذرت علوفه‌ای طی مراحل مختلف رشد با استفاده از $(T_c - T_a)$ و تعیین زمان آبیاری براساس شاخص تنش آبی گیاه (CWSI). در استخراج روابط فرض بر این است که غیر از تنش آبی، گیاه متحمل تنش محیطی دیگری نمی‌شود. بنابراین MAD های برآوردی در این تحقیق تنها در شرایط تنش آبی قابل استفاده می‌باشد. برای شرایط وجود تنش شوری، برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس دمای پوشش سبز صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی کرج در سال ۱۳۸۳ انجام گردید. این مزرعه دارای یک ایستگاه هواشناسی سینوپتیک به منظور دسترسی به پارامترهای هواشناسی است. بافت خاک مزرعه از نوع لوم رسی می‌باشد. برخی از مشخصات خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج تجزیه فیزیکی خاک در آزمایشگاه و منحنی مشخصه خاک، رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی (مکش ۱/۳ اتمسفر) برابر ۲۵ درصد و در نقطه پژمردگی دایم (مکش ۱۵ اتمسفر) برابر ۶/۵ درصد وزنی به‌دست آمد. رقم محصول مورد مطالعه در این تحقیق سینگل گراس ۷۰۴ می‌باشد. کشت محصول در تاریخ ۱۵ خرداد انجام و همزمان با کشت ۶۰

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی لایه‌های مختلف خاک محل آزمایش

عمق خاک (cm)	بافت خاک	pH	شوری عصاره اشباع (ds/m)	وزن مخصوص ظاهری (gcm ⁻³)
۰-۳۰	لوم رسی	۷/۸-۸/۴	۰/۴	۱/۳۸
۳۰-۶۰	لوم رسی	۷/۸-۸/۴	۰/۴	۱/۴۴

جدول ۲- پارامترهای اندازه‌گیری یا جمع‌آوری شده به منظور برنامه‌ریزی آبیاری

پارامتر	روش اندازه‌گیری یا جمع‌آوری	تعداد دفعات نمونه‌گیری
بافت خاک	روش USDA	یکبار
چگالی ظاهری خاک	نمونه‌گیر مغزی	یکبار
اسیدته خاک	PH سنج	یکبار
رطوبت خاک	مستقیم (روش وزنی)	روزانه
شوری عصاره اشباع خاک	هدایت الکتریکی سنج	یکبار
رطوبت حد FC و PWP	دستگاه صفحات فشاری	یکبار
عمق توسعه ریشه	اندازه‌گیری مزرعه‌ای	۵ بار
دمای پوشش سبزی	دماسنج مادون قرمز	۴-۵ بار در روز
پارامترهای هواشناسی	ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کرج	۴-۵ بار در روز
مراحل توسعه گیاه	مشاهده مزرعه‌ای	روزانه
عملکرد دانه و بیوماس	اندازه‌گیری مزرعه‌ای	یکبار

مرحله نام رشد دچار تنش آبی شده است. رابطه بین کاهش نسبی عملکرد و تبخیر و تعرق به صورت رابطه ۶ می‌باشد (۷):

$$1 - Y/Y_p = K_y (1 - ET/ET_p) \quad (6)$$

با ادغام روابط ۴، ۵ و ۶ رابطه ۷ استخراج و برای برنامه‌ریزی آبیاری با استفاده از شاخص CWSI استفاده گردید.

$$CS = K_y \times CWSI \quad (7)$$

نتایج و بحث

خطوط مبنای پایین و بالا

با اعمال تمام داده‌های برداشت شده برای تیمار مرطوب و برآزش منحنی خطی به داده‌ها، معادله خط مبنای پایین به روش ایدسو به دست آمد (رابطه ۸). برای ارزیابی نکویی برآزش، از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده گردید. مقدار ضریب تبیین ۰/۸۶۷ و RMSE برابر ۰/۶۶۵ به دست آمد:

$$(T_c - T_a)_{LL} = -0.1642 \times (AVPD) + 1.6098 \quad (8)$$

که در آن T_c و T_a برحسب درجه سانتیگراد و AVPD بر حسب میلی‌بار می‌باشد. با توجه به شکل ۱، با کاهش کمبود فشار بخار هوا (افزایش رطوبت نسبی هوا) برای انجام تعرق پتانسیل به اختلاف دمای کم بین پوشش سبز و هوا نیاز است. اما با کاهش کمبود فشار بخار هوا (کاهش رطوبت نسبی هوا) برای انجام تعرق پتانسیل به

دستگاه دماسنج مادون قرمز استفاده شده در این تحقیق مدل KM826 با بزرگنمایی (نسبت فاصله به قطر شیئی اندازه‌گیری) ۱:۸ و دارای دقت اندازه‌گیری ۱٪ ± بوده و اندازه‌گیری‌ها از فاصله نیم متری هدف (قطر هدف حدود ۶ سانتی‌متر) و زاویه ۱۰ تا ۲۰ درجه نسبت به افق انجام شد. برای هر اندازه‌گیری از هر تیمار، ۱۲ قرائت از چهار جهت جغرافیایی و سه ارتفاع گیاه انجام و میانگین آنها به عنوان دمای پوشش سبز در نظر گرفته شد.

در هر دوره رشد، اختلاف دمای پوشش سبز و هوا نشان دهنده مقدار تعرق می‌باشد. این اختلاف یا گرادیان دما در تیمار A1 بزرگتر بوده و تعرق در حد پتانسیل می‌باشد (۱۳). حال اگر گرادیان دما در یک تیمار از گرادیان دمای تیمار A1 کمتر گردد، نشان دهنده شروع تنش آبی در گیاه خواهد بود (۱۳). در این تحقیق نقطه شروع تنش آبی (کاهش تعرق) و جدا شدن منحنی اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا در تیمارهای تحت تنش از منحنی تیمار A1، به عنوان MAD گیاه تلقی گردید و بر این اساس مقادیر حداکثر مجاز تخلیه رطوبت برای مراحل مختلف رشد ذرت علوفه‌ای تعیین گردید. به منظور تعیین مستقیم زمان آبیاری بر اساس دمای پوشش سبز گیاه رابطه‌ای براساس CWSI و حساسیت گیاه به کم آبی (CS) استخراج گردید. حساسیت گیاه به کم آبی در هر مرحله رشد از رابطه ۵ به دست می‌آید (۱۲):

$$CS_i = 1 - Y_i/Y_p \quad (5)$$

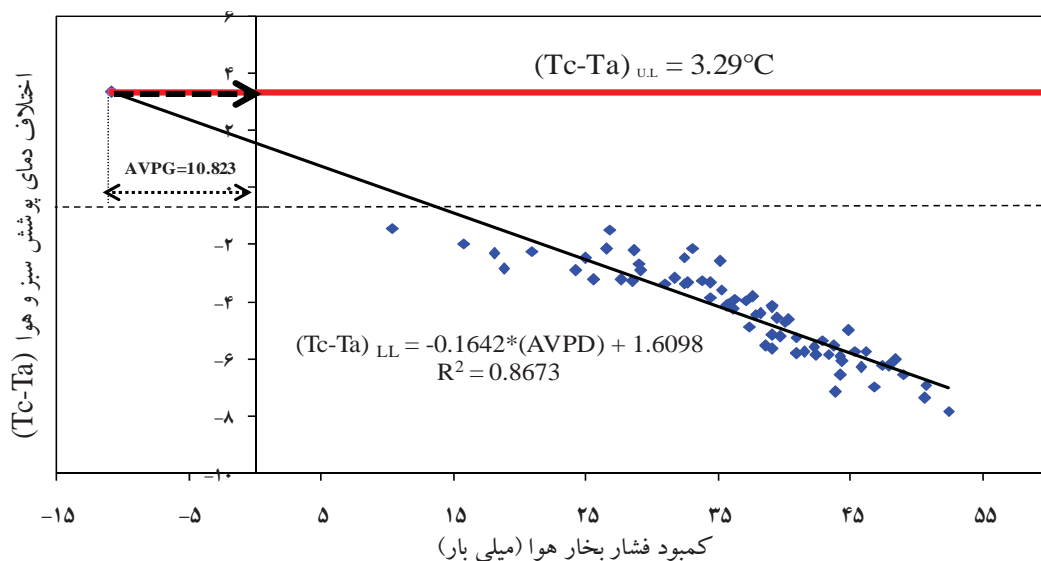
که در آن Y_p عملکرد پتانسیل و Y_i عملکرد تیماری است که در

اختلاف دمای پوشش سبز و هوا یا به عبارتی شیب دمایی بیشتر نیاز خواهد بود. موقعیت خط مبنای بالا به دو روش تیمار خشک (A2) در مزرعه و روش تئوری ایدسو استخراج گردید (۱۳). در شرایط مزرعه‌ای و بر اساس قرائت‌های پوشش سبز در تیمار خشک، حداقل تعرق محصول زمانی حاصل گردید که اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا به طور متوسط $+3/2$ درجه سانتیگراد گردد. به عبارت دیگر در این وضعیت دمای پوشش سبز گیاه حدود $+3/2$ درجه سانتیگراد گرمتر از دمای هوا خواهد شد. خط مبنای بالا بر اساس تیمار خشک، متوسط ۳۶ قرائت می‌باشد که رطوبت خاک در آستانه پژمردگی دایم قرار داشت. برای حصول اطمینان بیشتر از نتایج، خط مبنای بالا به روش تئوری نیز محاسبه گردید. بر اساس روش تئوری مقدار متوسط شیب فشار بخار برای قرائت‌های انجام شده طی فصل زراعی، $10/8$ میلی‌بار به دست آمد. با رسم خط عمود بر محور افقی (محور AVPD) از نقطه $10/8$ میلی‌بار در قسمت منفی محور AVPD و نیز ادامه دادن خط مبنای پایین، موقعیت خط مبنای بالا به روش تئوری به دست آمد. بر این اساس حداقل تعرق محصول، مربوط به زمانی است که اختلاف دمای پوشش گیاهی و هوا حدود $+3/39$ درجه سانتیگراد گردد. در شکل ۱ موقعیت خط مبنای پایین و بالا ارائه گردیده است. حداقل مقدار CWSI برابر صفر و روی خط مبنای پایین و حداکثر مقدار آن که نشان دهنده توقف کامل تعرق گیاه می‌باشد، یک بوده که روی خط مبنای بالا می‌باشد. به دلیل ارجحیت روش صحرائی در تعیین خط مبنای بالا، در این تحقیق خط مبنای بالا $+3/2$ درجه سانتیگراد فرض شد و مبنای محاسبات قرار گرفت.

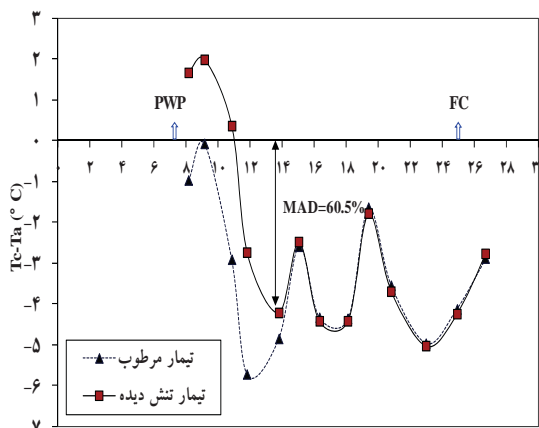
اختلاف دمای پوشش سبز و هوا در تیمار A1 معرف تعرق پتانسیل و در تیمارهای تحت تنش A3 تا A6 معرف تعرق واقعی گیاه می‌باشد. بعد از انجام آبیاری تعرق در تیمارهای تحت تنش معادل تعرق پتانسیل بوده و به همین جهت $(T_c - T_a)$ تیمارهای تحت تنش تقریباً برابر $(T_c - T_a)$ تیمار A1 می‌باشد. به تدریج با کاهش مقدار رطوبت خاک در تیمارهای تحت تنش، $(T_c - T_a)$ در این تیمارها نسبت به تیمار A1 افزایش یافت و مطابق شکل ۲، $(T_c - T_a)$ تیمارهای تحت تنش از تیمار A1 فاصله گرفت که این حاکی از کاهش تعرق در اثر کاهش رطوبت خاک می‌باشد که ایدسو (۱۳) نیز به نتایج مشابه رسیده بود. به منظور برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی برای هر کدام از مراحل رشد ذرت علوفه‌ای، $(T_c - T_a)$ تیمار A1 با هر یک از تیمارهای A3 تا A6، مورد مقایسه قرار گرفتند.

بدین صورت در تمام مراحل رشد، تیمار A1 به عنوان شرایط بهینه و پتانسیل تعرق بوده و به محض اینکه $(T_c - T_a)$ تیمارهای تحت تنش از $(T_c - T_a)$ تیمار A1 جدا شد (شروع تنش آبی)، به عنوان MAD آن مرحله از رشد مد نظر قرار گرفت. مطابق شکل ۲، پس از هر آبیاری خاک اشباع و بعد از مدتی به رطوبت حد FC رسید. $(T_c - T_a)$ دو تیمار تحت تنش در هر مرحله و A1 مقایسه گردید که بر همدیگر تطابق نسبتاً خوبی داشته‌اند. اما با کاهش رطوبت خاک، $(T_c - T_a)$ در تیمار تحت تنش نسبت به تیمار مرطوب افزایش نشان داد که نشان دهنده کاهش تعرق در اثر کاهش رطوبت خاک می‌باشد. طی دوره استقرار گیاه، مقادیر اختلاف دمای پوشش سبز و هوا برای دو تیمار مرطوب و تحت تنش (A3) در شکل ۲ ارائه گردیده است.

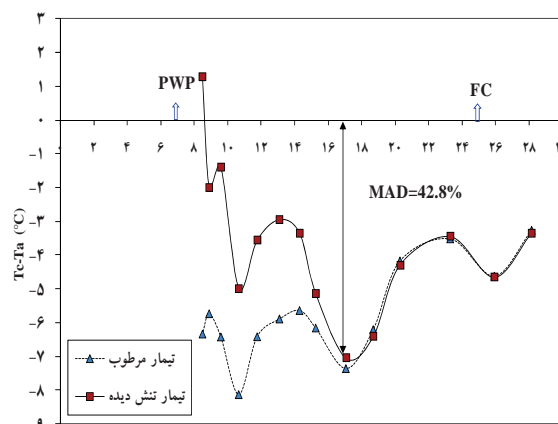
برآورد حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی در مراحل مختلف رشد



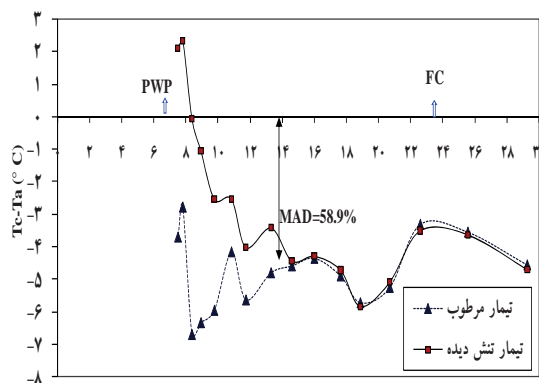
شکل ۱- موقعیت خطوط مبنای پایین و بالا به روش ایدسو (۱۳)



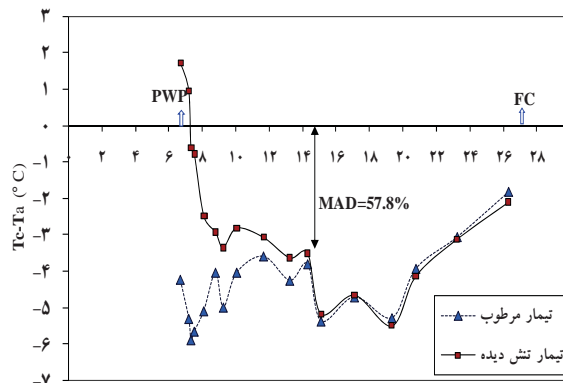
رطوبت وزنی تیمار تحت تنش آبی A4: دوره اول (درصد)



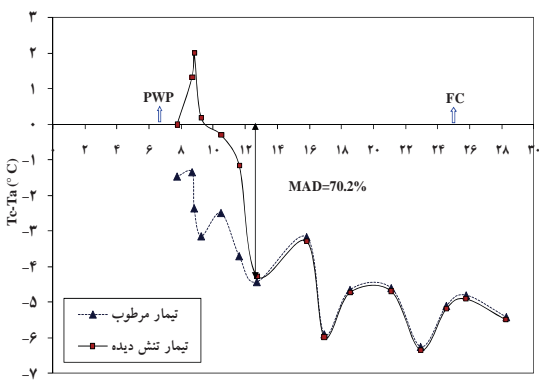
رطوبت وزنی تیمار تحت تنش آبی A3 (درصد)



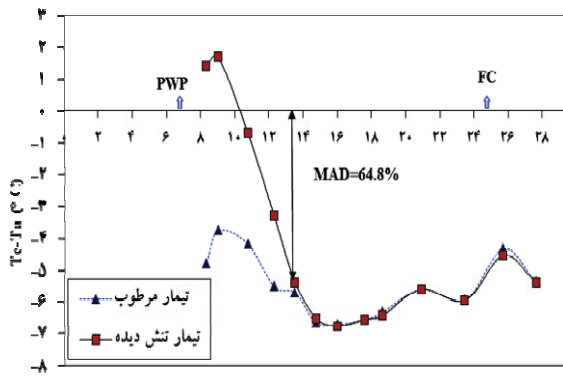
رطوبت وزنی تیمار تحت تنش آبی A5 (درصد)



رطوبت وزنی تیمار تحت تنش آبی A4: دوره دوم (درصد)



رطوبت وزنی تیمار تحت تنش آبی A6: دوره دوم (درصد)



رطوبت وزنی تیمار تحت تنش آبی A6: دوره اول (درصد)

شکل ۲- مقایسه مقادیر اختلاف دمای پوشش سبز و هوا برای دو تیمار مرطوب و تحت تنش در دوره‌های مختلف رشد ذرت علوفه‌ای به منظور برآورد حداکثر تخلیه مجاز

اختلاف دمای پوشش سبز و هوا در تیمار تحت تنش، شروع به جدا شدن از تیمار مرطوب می‌نماید. این وضعیت نشان دهنده شروع تنش آبی در تیمار A3 بوده و باز با کاهش رطوبت، تنش آبی تشدید گردید. محل شروع تنش آبی به عنوان حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی در دوره رشد استقرار گیاه در نظر گرفته شد که معادل ۴۲/۸ درصد می‌باشد.

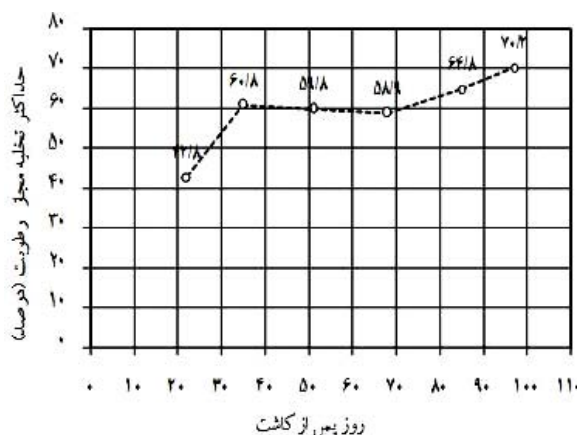
با توجه به شکل ۲، زمانی که رطوبت وزنی خاک در هر دو تیمار در حد ظرفیت مزرعه بود، اختلاف دمای پوشش سبز و هوا در تیمار A3 بر اختلاف دمای پوشش سبز و هوا در تیمار A1 که نشان دهنده تعرق پتانسیل می‌باشد، منطبق گردید. به تدریج با کاهش رطوبت خاک این تطابق دوام داشته، اما در ادامه با کاهش رطوبت خاک،

این سه دوره به ترتیب ۰/۴، ۱/۵ و ۰/۵ می‌باشد (۷). بر اساس رابطه ۷، مقادیر بحرانی CWSI برای سه مرحله فوق به ترتیب ۰/۳۳، ۰/۶۳ و ۰/۴۲ به دست آمد. مطابق رابطه ۳ زمان آبیاری بر اساس شاخص تنش آبی گیاه طی مراحل سه گانه رشد با حل روابط زیر به دست می‌آید:

$$0.63 = \frac{(T_c - T_a)_c - (-0.16417 \times (AVPD) + 1.6098)}{3.2 - (-0.16417 \times (AVPD) + 1.6098)} \quad (9)$$

$$0.33 = \frac{(T_c - T_a)_c - (-0.16417 \times (AVPD) + 1.6098)}{3.2 - (-0.16417 \times (AVPD) + 1.6098)} \quad (10)$$

$$0.42 = \frac{(T_c - T_a)_c - (-0.16417 \times (AVPD) + 1.6098)}{3.2 - (-0.16417 \times (AVPD) + 1.6098)} \quad (11)$$



شکل ۳- روند تغییرات حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی طی دوره رشد ذرت علوفه‌ای

در روابط فوق $(T_c - T_a)_c$ اختلاف دمای پوشش سبز گیاه و هوا در نقطه بحرانی می‌باشد که در واقع زمان فرا رسیدن آبیاری را نشان می‌دهد. با حل روابط ۹، ۱۰ و ۱۱ معادلات زمان آبیاری بر اساس اختلاف دمای بحرانی پوشش سبز گیاه و هوا: $(T_c - T_a)_c$ ، به ترتیب برای سه دوره مختلف رشد به صورت زیر به دست می‌آید:

$$(T_c - T_a)_c = -0.0619(AVPD) + 2.68 \quad (12)$$

$$(T_c - T_a)_c = -0.1093(AVPD) + 2.17 \quad (13)$$

$$(T_c - T_a)_c = -0.0949(AVPD) + 2.31 \quad (14)$$

با اندازه‌گیری دمای تر و خشک هوا و دمای پوشش سبز، مقدار کمبود اشباع محاسبه و با استفاده از معادلات ۱۲ تا ۱۴، مقدار $(T_c - T_a)_c$ محاسبه و با مقدار اندازه‌گیری شده اختلاف دمای پوشش سبز و هوا، مقایسه و زمان آبیاری مشخص می‌شود. در صورتی که $(T_c - T_a)_c$ اندازه‌گیری شده از $(T_c - T_a)_c$ کمتر گردد، زمان آبیاری هنوز فرا نرسیده و برابر شدن این دو، لزوم انجام آبیاری را می‌رساند. با اینکه برنامه ریزی آبیاری بر این اساس نیاز به اندازه‌گیری دمای تر و خشک هوا و دمای پوشش سبز دارد؛ اما در شرایطی که گیاه غیر از تنش آبی، تحت تنش شوری نیز قرار گیرد، برنامه‌ریزی بر اساس MAD از دقت

برای سایر دوره‌های رشد نیز این مقایسه صورت گرفت که در شکل ۲ و برای دوره‌های رشد رویشی، گلدهی و رسیدن ارائه شده است. با توجه به طولانی بودن دوره‌های رشد رویشی و رسیدن، مقادیر تخلیه مجاز رطوبتی برای هر دوره، طی دو مرحله اندازه‌گیری گردید. متوسط حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی در دوره رشد رویشی گیاه ۵۹/۲ درصد، در دوره گلدهی ۵۸/۹ درصد و در دوره رسیدن محصول ۶۷/۵ درصد حاصل شد. در شکل ۳ روند تغییرات MAD نسبت به دوره رشد ارائه شده است. بر اساس این شکل، تخلیه مجاز رطوبتی در دوره استقرار گیاه برابر ۴۲/۸ درصد می‌باشد که در ادامه رشد، افزایش و در روز ۱۳۵ ام از کشت محصول به مقدار ۶۰/۸ درصد رسید. در ادامه رشد، مقدار تخلیه مجاز رطوبتی اندکی کاهش و در روز ۱۵۱ ام به ۵۹/۸ درصد می‌رسد. در روز ۱۶۸ ام این مقدار حدود ۵۸/۹ درصد بوده که مصادف با گلدهی محصول می‌باشد. در ادامه فصل رشد، تخلیه مجاز رطوبتی افزایش یافته و در روز ۸۵ و ۹۷ ام، به ترتیب به ۶۴/۸ و ۷۰/۲ درصد رسید. متوسط تخلیه مجاز برای دوره رویشی ۶۰/۳ و برای دوره انتهایی ۶۷/۵ درصد به دست آمد. نشریه فائو ۵۶، مقدار MAD را ثابت و ۵۵ درصد برای کل دوره در نظر گرفته است (۴). اما طبق نتایج این تحقیق، دامنه تغییرات از ۴۲/۸ تا ۷۰/۲ درصد می‌باشد. بر اساس تحقیقات کایسی و برونر (۶) روی ذرت دانه‌ای، مراحل استقرار و گلدهی ذرت دانه‌ای، حساس‌ترین مراحل به کم آبی بوده ولی ارقام تحقیق حاضر نشان می‌دهد برای ذرت علوفه‌ای مرحله استقرار حساس‌ترین دوره به کمبود آبی است. اما در عمل اکثر زارعین در این مرحله تخلیه آب خاک را بیشتر از این رقم (عمدتاً با هدف ترغیب ریشه به رشد سریع و عمیق) در نظر می‌گیرند. پس از مرحله استقرار تا مرحله خمیری شدن دانه، روند تغییرات تقریباً ثابت می‌ماند. مقاوم‌ترین مرحله ذرت علوفه‌ای، مربوط به دوره رسیدن محصول می‌باشد که تخلیه آب خاک را تا ۷۰ درصد ممکن می‌سازد. به نظر می‌رسد که گسترش کامل ریشه و تغییرات فیزیولوژیکی گیاه از علل مقاوم بودن مرحله انتهایی رشد به کم آبی باشند. روند تغییرات MADهای مستخرج در این تحقیق تا حد زیادی به روند ارقامی که توسط جارالهی و مهدویان (برگرفته از نشریات فائو) گزارش گردیده (۱)، مشابه بود. اما تفاوت در مقدار آنها می‌باشد که عمده‌ترین تفاوت در MAD مرحله رسیدن بود که توسط آنها ۸۰ درصد تخلیه رطوبت گزارش گردید ولی بر اساس نتایج این تحقیق به طور متوسط ۶۷/۵ درصد به دست آمد.

برنامه‌ریزی آبیاری بر اساس CWSI

بر اساس منابع، مقادیر (CS) برای دوره‌های رشد رویشی، ظهور کاکل‌ها و کامل شدن تاج گل تا مرحله خمیری و مرحله رسیدن ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۲۱ می‌باشد (۲). مقادیر K_y برای

کافی برخوردار نخواهد بود.

تخلیه مجاز رطوبتی در دوره رشد رویشی گیاه ۵۹/۲ درصد، در دوره گلدهی ۵۸/۹ درصد و در دوره رسیدن محصول ۶۷/۵ درصد به‌دست آمد. روند تغییرات حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی طی دوره رشد ذرت علوفه‌ای تقریباً یک روند افزایشی داشته اما در دوره گلدهی اندکی کاهش نشان داد. در شرایط وجود تنش شوری، برنامه‌ریزی بر اساس MAD از دقت کافی برخوردار نبوده و لازم است که به طور مستقیم از شاخص گیاهی استفاده گردد. بر این اساس شاخص CWSI در نظر گرفته شد و روابطی برای برنامه‌ریزی آبیاری استخراج شد. براساس این روش، نیاز به اندازه‌گیری دمای تر و خشک هوا و دمای پوشش سبز می‌باشد که در صورت نبود امکانات اندازه‌گیری پارامترهای فوق، کاربرد این روش محدود خواهد شد.

نتیجه‌گیری

برنامه‌ریزی براساس دمای پوشش سبز، دقیق‌تر از روش‌های مبتنی بر شاخص‌های خاک می‌باشد؛ زیرا بر اساس رابطه بین مقدار تعرق گیاه و قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر می‌باشد. در این تحقیق دو روش برای برنامه‌ریزی توسعه داده شد. با توجه ساده و کاربردی بودن برنامه‌ریزی بر اساس روش‌های مبتنی بر شاخص‌های خاک، با استفاده از دمای پوشش سبز، MAD ذرت علوفه‌ای استخراج گردید، اما کاربرد آن منوط به شرایطی است که تنش آبی، تنها تنش وارد بر گیاه باشد. حداکثر تخلیه مجاز رطوبتی ذرت علوفه‌ای در دوره استقرار گیاه حدود ۴۲/۸ درصد به‌دست آمد. در ادامه رشد، متوسط حداکثر

منابع

- ۱- جارالهی ر. و مهدویان م. ۱۳۷۹. واکنش عملکرد محصول نسبت به آب. ترجمه نشریه شماره ۳۳ فائو. صفحات ۱۳۸ تا ۱۴۳.
- ۲- کوچکی ع، حسینی م. و نصیری محلاتی م. ۱۳۷۴. رابطه آب و خاک در گیاهان زراعی. انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد. چاپ دوم.
- ۳- علیزاده ا. ۱۳۸۰. رابطه آب و خاک و گیاه. چاپ دوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد. چاپ چهارم.
- 4- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56, FAO, Rome, Italy, 300 p.
- 5- Alderfasi A.A., and Nielsen D.C. 2001. Use of crop water stress index for monitoring water status and scheduling irrigation in wheat. Agricultural Water Management. 47: 69-75.
- 6- Al-Kaisi M.M., and Broner I. 1992. Crop Water Use and Growth Stages. Colorado State University Extension. No. 4.715.
- 7- Doorenbos J., and Kassam A.H. 1979. Yield response to water. Irrigation and Drainage Paper 33. FAO, Rome, Italy.
- 8- Gardner B.R., Blad B.L., Garrity D.P., and Watts D.G. 1981 a. Relationships between crop temperature, grain yield, evapotranspiration and phenological development in two hybrids of moisture stressed sorghum. Irrigation Science. 2: 213-224.
- 9- Gardner B.R., Blad B.L., and Watts D.G. 1981 b. Plant and air temperatures in differentially irrigated corn. Agricultural Meteorology. 25: 207-217.
- 10- Howell T.A., Musick J.T., and Tolck J.A. 1984. Canopy temperature of irrigated winter wheat. Transactions of the ASAE. 29(6): 1692-1706.
- 11- Idso S.B., Jackson R.D., and Reginato R.J. 1977. Remote sensing of crop yields. Science. 196: 19-25.
- 12- Idso S.B., Jackson R.D., Pinter P.J., Reginato R.J., and Hatfield J.L. 1981. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. Agricultural Meteorology. 24: 45-55.
- 13- Idso S.B. 1982 a. Non-water stressed baselines; a key to measuring and interpreting plant water stress. Agricultural Meteorology. 27: 59-70.
- 14- Idso S.B., and Reginato R.J. 1982 b. Leaf diffusion resistance and photosynthesis in cotton related to a foliage temperature based plant water stress index. Agricultural Meteorology. 27: 27-34.
- 15- Jones H.G., and Demmers D. 1999. Use of thermograph for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. Plant Cell and Environment. 22: 1043-1055.
- 16- Orta A.H., Erdem Y., and Erdem T. 2003. Crop water stress index for watermelon. Scientia Horticulturae. 98: 121-130.
- 17- Sharratt B.S., Reicosky D.C., Idso S.B., and Baker D.G. 1983. Relationship between leaf water potential, canopy temperature, and evapotranspiration in irrigated and nonirrigated alfalfa. Agronomy Journal. 75: 891- 894.

Estimation of Maximum Allowable Deficit in Different Growth Stages of Fodder Mays Using Canopy-Air Temperature Difference

V.R. Verdinejad^{1*} - S. Besharat² - H. Abghari³ - H. Ahmadi⁴

Received:22-1-2011

Accepted:21-8-2011

Abstract

To optimal use of available water, irrigation scheduling is important to over scarcity of water resources in arid and semi-arid area. In this research to estimate of maximum allowable deficit (or: management allowed depletion) and irrigation scheduling of Fodder Mays based on canopy-air temperature difference, a field study was conducted in agricultural faculty of Karaj. The lower limit baseline (potential transpiration) and upper limit baseline (zero transpiration) were estimated by a wet treatment: (keeping soil water content at Field Capacity) and a dry treatment: (complete depletion of available water), respectively. To estimate the maximum allowable deficit, four soil moisture depletion to permanent wilting point treatments were applied in four different growth stages including settlement, vegetating, flowering and ripening of Fodder Mays with three replications. The measured data were wet and dry air temperature, canopy temperature, air relative humidity, root depth, soil water content in root depth and air vapor pressure and based the measured data, equations were extracted for lower and upper limit baselines of Fodder Mays. By comparison of canopy-air temperature difference of four treatments of soil moisture depletion with wet treatment, the maximum allowable deficit for four growth stages were estimated 42.8, 59.2, 58.9 and 67.5 percentages, respectively. The location of upper limit baseline (zero transpiration) was obtained +3.2 °C based on dry treatment. To irrigation scheduling in different growth stages by canopy-air temperature difference, crop water stress index was used and irrigation time was determined by direct method of canopy temperature.

Keywords: Canopy temperature, Evapotranspiration, Fodder Mays, Irrigation scheduling, Karaj

1,2,4- Assistant Professors, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University
(*-Corresponding Author Email: verdinejad@gmail.com)

3- Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University