

تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد^۱

مهدی قیصری، سیدمجید میرلطیفی، مهدی همایی و محمداسماعیل اسدی^۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۸۴/۱۰/۱۷

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۱/۲۴

چکیده

برای تدوین برنامه آبیاری مناسب و اعمال مدیریت کارآ و آگاهانه، تعیین ضریب گیاهی بر مبنای مراحل مختلف رشد و نیز تخمین تبخیر- تعرق گیاه ضروری است. ضریب گیاهی در چهار مرحله رشد (مراحل اولیه، توسعه، میانی، و نهایی) برخی گیاهان را سازمان خواربار و کشاورزی جهانی ارائه داده است. اما مقادیر ضرایب گیاهی ارائه شده در مراحل رشد ثابت یا دارای شیب ثابت هستند. بنابراین، در راستای افزایش دقت برآوردهای روزانه نیاز آبی گیاهان لازم است، ضرایب گیاهی و تبخیر- تعرق گیاهان روزانه برآورد شود. هدف از این پژوهش، تعیین ضریب گیاهی بر مبنای مراحل رشد ذرت علوفه‌ای و تخمین مقدار تبخیر- تعرق روزانه در سیستم آبیاری بارانی در منطقه نیمه خشک ورامین است. بدین منظور، رطوبت خاک در ۱۸ کرت آزمایشی تا عمق ۱۸۰ سانتی‌متر با نوترون‌متر اندازه‌گیری و تبخیر- تعرق گیاه به روش بیلان حجمی آب خاک محاسبه شد. همچنین، تبخیر- تعرق مرجع به روش فائو- پنمن- مانتیث محاسبه گردید. "ضریب گیاهی" و "نسبت تبخیر- تعرق ذرت به تبخیر از تشتک"، به صورت تابعی از "روز پس از کاشت"، درجه روز رشد، و "شاخص سطح برگ" با ضریب همبستگی بین ۰/۸۰ تا ۰/۹۳ تعیین شد. ضریب گیاهی در مراحل اولیه، توسعه، میانی، و نهایی رشد ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۹، ۱/۱۳، و ۰/۷ به دست آمد. بیشترین و کمترین مقدار "تبخیر- تعرق ذرت به تبخیر از تشتک" به ترتیب ۰/۳۹ در مرحله اولیه رشد و ۰/۸۸ در مرحله میانی رشد رخ داد. در مدت زمان ۹۰ روز دوره رشد، تبخیر- تعرق تجمعی ذرت علوفه‌ای بر اساس بیلان آب خاک، ۶۹۵ میلی‌متر به دست آمد. در حالی که تبخیر- تعرق تجمعی مرجع با استفاده از معادله فائو- پنمن- مانتیث، ۸۱۵ میلی‌متر برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی

تبخیر- تعرق، ضریب گیاهی، نیاز آبی

۱- برگرفته از رساله دکتری گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- به ترتیب دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران بزرگراه جلال آل احمد، پل نصر، دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، تلفن: ۰۲۱-۴۴۱۹۴۹۱۱، پیام نگار: gheisari@yahoo.com، استادیار گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، دانشیار گروه خاکشناسی دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، و عضو هیئت علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی گلستان

مقدمه

(Jensen et al., 1990; Smith et al., 1992).

معادله پنمن را دورنبوس و پروت اصلاح کردند و معادله اصلاح شده تحت عنوان پنمن اصلاح شده (FCPM) منتشر شده است. تحقیقات بعدی نشان می‌دهد که معادله FCPM نیاز آبی را بیش از مقدار واقعی برآورد می‌کند. در این راستا، معادله فائو-پنمن - مانتیث (FPM) برای تخمین ET_o بسط داده شد. با این همه، داده‌های هواشناسی مورد نیاز در روش FPM، همیشه در دسترس نیست و بنابراین، روش‌هایی که به داده‌های کمتری نیاز دارند در مناطقی به کار رفته‌اند که دچار کمبود داده‌های هواشناسی هستند.

ضریب گیاهی، نسبت تبخیر-تعرق گیاه (ET_c) به تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) است. معمولاً، چمن یا یونجه به عنوان گیاه مرجع در نظر گرفته می‌شود (Allen et al., 1998). ضریب گیاهی در دوره‌های مختلف رشد متفاوت است. این ضریب را آلن و همکاران برای تعدادی از گیاهان در شرایط مختلف آب و هوایی پیشنهاد کرده‌اند. به دلیل نبود داده‌های منطقه‌ای، مقادیر پیشنهاد شده فوق به صورت مشترک در همه مناطق استفاده می‌شود. اما باید دانست که مقادیر K_c برای یک دوره رشد مشخص (کشت بهاره یا پاییزه) ارائه شده است و متأثر از شرایط اقلیمی، روش آبیاری، و دور آبیاری است.

ET_c ذرت در سیستم آبیاری بارانی در مناطق نیمه خشک ترکیه (Cakir, 2004) و در سیستم آبیاری قطره‌ای در جنوب غرب ترکیه (Yazar et al., 2002) مطالعه و مشخص شده که مقدار آن در آبیاری قطره‌ای بیشتر از آبیاری بارانی است. همچنین ET_c و K_c ذرت در مناطق نیمه خشک چین مورد مطالعه و مقادیر مختلفی

ذرت علوفه‌ای معمولاً در مناطق خشک و نیمه خشک ایران پس از برداشت گندم و جو کشت می‌شود. با توجه به زمان کاشت و شرایط اقلیمی، آبیاری این گیاه زراعی اجتناب ناپذیر است. کاشت ذرت علوفه‌ای در گرم‌ترین ماه سال (تیرماه) یعنی زمانی است که آب بحرانی‌ترین شرایط را دارد. بنابراین، تدوین برنامه آبیاری و اعمال مدیریت صحیح آبیاری می‌تواند از زیان‌های ناشی از کمبود منابع آب بکاهد.

تبخیر - تعرق گیاه (ET_c) فاکتور اصلی در تدوین برنامه آبیاری مناسب و بهبود راندمان مصرف آب در آبیاری است. ET_c را می‌توان با اندازه‌گیری پیوسته تغییرات آب خاک با استفاده از لایسیمتر یا بیان آب خاک تعیین یا براساس تخمین تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) و استفاده از ضریب گیاهی (K_c) برآورد کرد (Doorenbos & Pruitt, 1977). معادله‌های متعددی برای محاسبه ET_o ارائه شده است. این معادله‌ها شامل معادله‌های پیچیده توازن انرژی و انتقال جرم تا معادله‌های ساده‌ای هستند که به داده‌هایی اندک نیاز دارند، مانند معادله هارگریوز و سامانی (Hargreaves & Samani, 1985). معادله‌هایی که بر فرآیند توازن انرژی و فرآیند آئرودینامیک استوارند، به دلیل در نظر گرفتن بسیاری از پارامترهای مؤثر بر فرآیند تبخیر-تعرق دقت بیشتری دارند و متعاقباً بیش از روابط تجربی استفاده شده‌اند. برآورد ET_o با معادله پنمن - مانتیث (PM)، در مقایسه با دیگر ویرایش‌های معادله پنمن مانند پنمن - رایت و فائو-پنمن، از دقت بیشتری برخوردار است

است. پارامترهای هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی سازمان هواشناسی کشور مستقر در محدوده مزرعه تحقیقاتی جمع‌آوری شد. مقدار تبخیر از تشتک کلاس A واقع در ایستگاه هواشناسی روزانه اخذ گردید. بارش‌های این منطقه بیشتر در پاییز و زمستان است و در زمان کاشت ذرت علوفه‌ای (تابستان) معمولاً هیچ بارندگی وجود ندارد. عملیات کاشت در ۵ تیرماه اجرا شد.

آزمایش در زمینی به ابعاد ۸۵ در ۲۰۵ متر شامل ۳۶ کرت آزمایشی به ابعاد ۱۶ در ۱۶ متر اجرا شد. زمین مجهز به سیستم آبیاری بارانی کلاسیک ثابت بود. به صورتی که در چهار گوشه هر کرت آزمایشی آبپاش (ویر-۶۰، با شعاع پاشش ۱۶ متر) نصب شده بود. در این تحقیق سه سطح کودی صفر، ۱۵۰، و ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار و چهار سطح آبیاری $0/7\text{ET}$ ، $0/85\text{ET}$ ، $0/1\text{ET}$ و $1/13\text{ET}$ با استفاده از طرح آماری کرت‌های نواری^۱ در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا گردید. با توجه به آنکه ضرایب گیاهی در حالت آبیاری کامل در شرایط رشد مطلوب گیاه استخراج می‌شود، در مقاله حاضر برای محاسبه ضریب گیاهی ذرت از نتایج تیمارهای $0/1\text{ET}$ و $1/13\text{ET}$ و مصرف کود ۲۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار استفاده شد. هر کرت شامل ۱۵ جوی و پشته به فاصله ۷۵ سانتی‌متر و طول ۱۶ متر بود. بذر مصرفی از نوع هیبرید ذرت علوفه‌ای سینگل کراس ۷۰۴ بود و تراکم نیز ۸۵۰۰۰ بوته در هکتار در نظر گرفته شد. جهت اندازه‌گیری رطوبت با دستگاه نوترون‌متر در وسط هر پلات، یک لوله PVC به طول ۲ متر که انتهای آن مسدود و عایق‌بندی شده بود، داخل زمین نصب گردید.

برای ET_C و K_C ارائه شده است (Kang et al., 2003; Le et al., 2003). الگوی تغییرات شاخص‌های رشد گیاه از جمله شاخص سطح برگ در شرایط مختلف اقلیمی و زمان‌های مختلف کاشت بسیار متفاوت (Hunt, 1990) و مقدار ET_C تحت تأثیر مقدار LAI است. بنابراین، روند تغییرات K_C در شرایط مختلف اقلیمی و زمان‌های مختلف کاشت متفاوت خواهد بود. با توجه به این نکته که ذرت علوفه‌ای در ایران در ابتدای فصل تابستان پس از برداشت گندم و جو کشت می‌شود و زمان کاشت آن در گرم‌ترین روزهای دوره رشد ذرت است، می‌توان انتظار داشت که ضریب گیاهی ذرت در این شرایط با ضریب گیاهی توصیه شده آلن و همکاران (Allen et al., 1998) متفاوت باشد. بنابراین ارائه ضرایب گیاهی روزانه سبب افزایش دقت اندازه‌گیری تبخیر-تعرق خواهد شد. در این راستا در تحقیق حاضر، ET_C ذرت علوفه‌ای به روش بیلان حجمی آب خاک، ET_0 با استفاده از روش FPM، نسبت ET_C به تبخیر از تشتک، و ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای به صورت روزانه تعیین شد.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۳۸۳ در اراضی مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین با ارتفاع ۹۷۳ متر از سطح دریا، طول جغرافیایی $29^{\circ} 38' 51''$ شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 20' 38''$ شمالی اجرا شد. خاک مزرعه عمیق و بافت آن در عمق صفر تا ۶۰ سانتی‌متری لوم رسی است. برخی ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایش شد و نتایج در جدول شماره ۱ ارائه شده

نوترون متر برای شرایط مزرعه در اعماق مختلف کالیبره شد و معادله کالیبراسیون آن برای اعماق ۱۰-۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۳۰، ۳۰-۶۰، ۶۰-۱۰۰ و ۱۸۰-۱۰۰ سانتی متر به دست آمد. برای تعیین زمان و مقدار آبیاری از داده‌های نوترون متر استفاده شد. زمان آبیاری بر اساس تخلیه مجاز رطوبت برابر ۵۰ درصد ($MAD=50\%$) آب قابل دسترس خاک (پتانسیل ماتریک ۰/۱- مگاپاسکال در عمق توسعه ریشه) تعیین شد. به منظور کنترل مقدار تخلیه رطوبت از نیمرخ خاک و تعیین زمان و مقدار آبیاری، منحنی تغییرات رطوبت نیمرخ خاک تهیه شد (شکل شماره ۱). عمق آبیاری با هدف جبران کمبود رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد

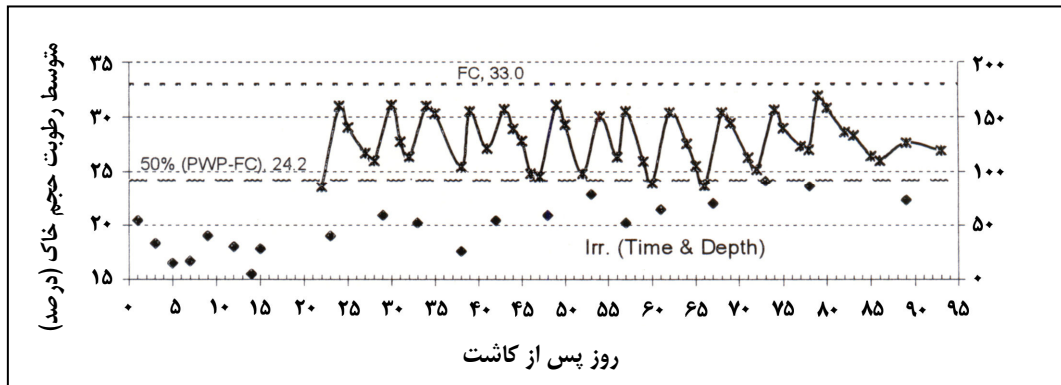
ظرفیت مزرعه (FC) محاسبه و اعمال گردید. برای کنترل عمق آبیاری از کنتورهایی استفاده شد که در مسیر جریان نصب شده بودند. دور آبیاری تابع میزان تخلیه رطوبت از نیمرخ خاک بود. بنابراین، دور آبیاری در طول فصل رشد به طور یکسان رعایت نشد. در شکل شماره ۲ زمان و مقدار آبیاری در تیمار آبیاری کامل ارائه شده است. برای تعیین ضریب گیاهی از معادله زیر استفاده شد:

$$K_C = \frac{ET_C}{ET_O} \quad (1)$$

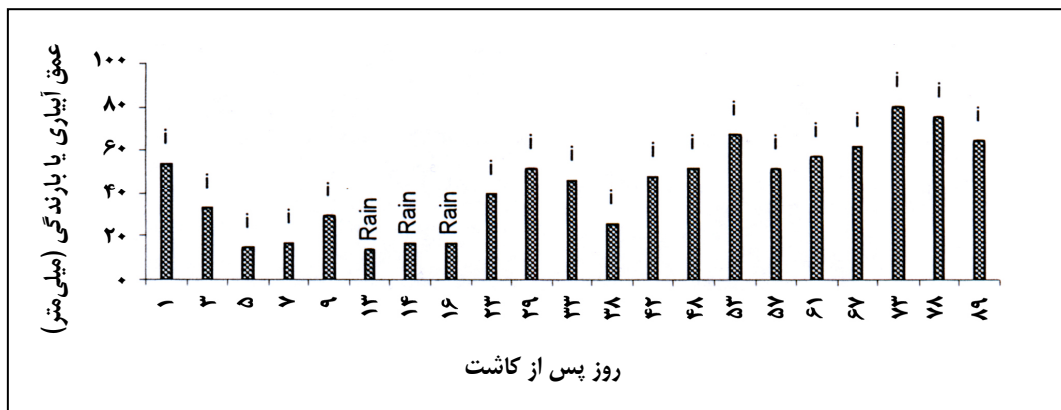
که در آن، ET_C و ET_O به ترتیب تبخیر - تعرق گیاه و تبخیر - تعرق مرجع هستند.

جدول شماره ۱- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق خاک (سانتی متر)	۰-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۳۰	۳۰-۴۰	۴۰-۵۰	۵۰-۶۰	۶۰-۷۰	۷۰-۸۰	۸۰-۹۰
جرم ویژه ظاهری (گرم بر سانتی متر مکعب)	۱/۱۰	۱/۳۰	۱/۴۰	۱/۳۳	۱/۳۹	۱/۴۱	۱/۴۰	۱/۳۴	۱/۳۴
جرم ویژه حقیقی (گرم بر سانتی متر مکعب)	۲/۳۲	۲/۳۲	۲/۴۹	۲/۴۹	۲/۶۳	۲/۶۳	۲/۳۵	۲/۶۴	۲/۶۴
EC (دسی زیمنس در متر)	۲/۲۵	۲/۲۵	۳/۵۵	۳/۵۵	۱/۸۵	۱/۸۵	۲/۹۰	۲/۱۰	۲/۱۰
کربن آلی (درصد)	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۷۳	۰/۷۳	۰/۴۷	۰/۴۷	۰/۳۷		
مجموع آنیون‌ها (میلی اکوی والان در لیتر)	۲۳/۵۰	۲۳/۵۰	۳۴/۵۰	۳۴/۵۰	۱۸/۵۰	۱۸/۵۰	۱۹/۰۰		
مجموع کاتیون‌ها (میلی اکوی والان در لیتر)	۲۲/۲۰	۲۲/۲۰	۳۵/۱۰	۳۵/۱۰	۱۸/۱۰	۱۸/۱۰	۱۹/۳۰		



شکل شماره ۱- تغییرات رطوبت نیمرخ خاک در عمق ۶۰ سانتی‌متری در طول فصل رشد در تیمار بیش آبیاری



شکل شماره ۲- زمان و مقدار آبیاری و بارندگی در تیمار آبیاری کامل

از معادله شماره ۲ مقدار ET_C محاسبه می‌شود. در این تحقیق رطوبت حجمی خاک با نوترون‌متر تا عمق ۱/۸ متری اندازه‌گیری شد. عمق‌های اندازه‌گیری رطوبت ۷/۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵، ۵۵، ۶۵، ۸۵، ۱۰۵، ۱۲۵، ۱۴۵، ۱۶۵ و ۱۸۰ سانتی‌متر بود. رطوبت خاک پیش و پس از هر نوبت آبیاری و همچنین در بعضی روزهای بین دو آبیاری اندازه‌گیری شد. ET_C با استفاده از معادله زیر محاسبه گردید:

$$ET_C = I + P - D + \int_0^z \int_{t1}^{t2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) \rho Z \partial t \quad (2)$$

به منظور تعیین تبخیر- تعرق گیاه معمولاً از لایسیمتر استفاده می‌شود. و اگر لایسیمتر در دسترس نباشد برای این کار استفاده از روش موازنه آب خاک در مزرعه توصیه می‌شود (Prihar & Soundhu, 1987; Bandy Padhyay & Mallicks, 2003). به منظور اعمال موازنه آب در مزرعه از هدایت هیدرولیکی خاک در زمان‌ها و عمق‌های مختلف (Proffitt *et al.*, 1985) یا تشریح پروفیل آب خاک که به کمک آن مقدار واقعی ET_C به دست می‌آید، استفاده می‌شود. در روش تشریح پروفیل آب خاک رطوبت حجمی خاک پیش و پس از آبیاری در اعماق مختلف اندازه‌گیری و با استفاده

$$GDD = \sum_1^n \left[\frac{T_{\max} - T_{\min}}{2} - T_b \right] \quad (۴)$$

که در آن: T_b = دمای پایه (برای گیاه ذرت برابر ۱۰ درجه سانتی گراد (Kouchaki & Nasiri Mahalati, 1992) $T_{\max}$ و $T_{\min}$ به ترتیب = بیشترین و کمترین دمای روزانه؛ و n = تعداد روزها در مدت زمان مشخص است (Kouchaki & Nasiri Mahalati, 1992). معادله شماره ۴ زمانی کاربرد دارد که تفاضل دمای پایه از میانگین دما مثبت است. سطح برگ در دوره‌های چهارده روزه با استفاده از دستگاه سطح برگ‌سنج^۲ به منظور محاسبه شاخص سطح برگ (LAI) اندازه‌گیری شد.

نتایج و بحث

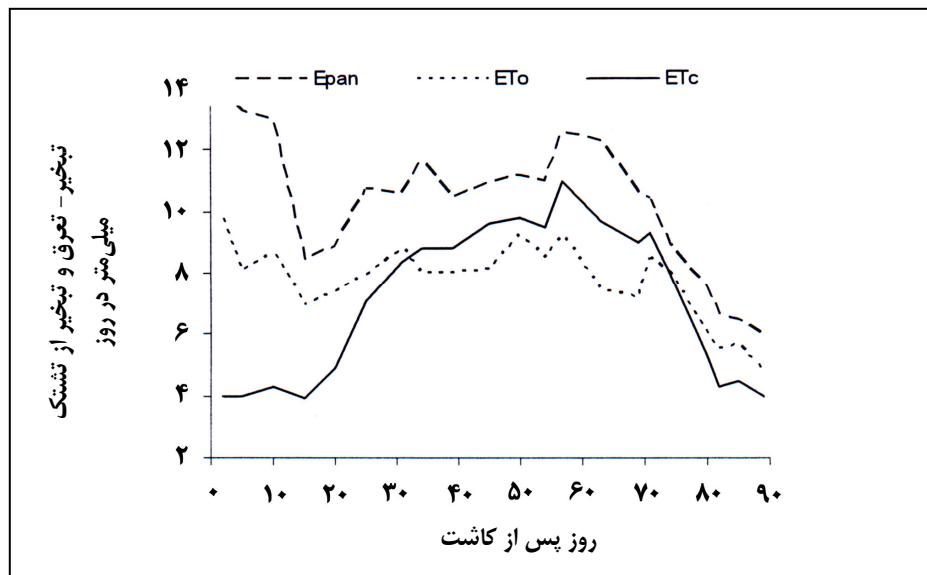
تبخیر- تعرق گیاه با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای و روش موازنه حجمی آب خاک محاسبه شد. در شکل شماره ۳ تبخیر- تعرق گیاه (ET_C)، تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0)، و تبخیر از تشتک (E_{Pan}) در روزهای آزمایش نشان داده شده است. تبخیر از تشتک همواره بیشتر از ET_0 و ET_C بود. در آغاز و پایان دوره رشد، ET_0 بیشتر از ET_C بود. اما در اواسط دوره رشد، با افزایش شاخص سطح برگ ET_C افزایش یافت و بیشتر از ET_0 شد.

که در آن: ET_C ، I ، P و D به ترتیب تبخیر- تعرق گیاه، عمق آبیاری، مقدار بارندگی، و نفوذ عمقی (بر حسب میلی‌متر در دوره زمانی اندازه‌گیری)؛ θ = رطوبت حجمی خاک بر حسب متر مکعب بر متر مکعب؛ Z = عمق لایه بر حسب میلی‌متر؛ و t = زمان بین دو اندازه‌گیری رطوبت بر حسب روز است. تبخیر- تعرق مرجع (ET_0) روزانه (۲۴ ساعته) با استفاده از معادله فائو- پنمن- مانتیث (FPM) محاسبه شد (Allen et al., 1994):

$$ET_0 = \frac{[0.418\Delta(R_n - G) + (900\gamma)(T + 273)U_2(e_a - e_d)]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad (۳)$$

که در آن: ET_0 = تبخیر- تعرق گیاه مرجع بر حسب میلی‌متر در روز؛ R_n = تشعشع خالص بر حسب مگاژول بر متر مربع در روز؛ G = شار حرارتی خاک (بر حسب مگاژول بر متر مربع در روز)؛ T = متوسط دمای هوا بر حسب درجه سانتی‌گراد؛ U_2 = سرعت باد در ارتفاع ۲ متری بر حسب متر در ثانیه؛ $(e_a - e_d)$ = کمبود فشار بخار (kPa)؛ Δ = شیب منحنی فشار بخار بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد؛ γ = ضریب سایکرومتری بر حسب کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد؛ و ۹۰۰ = فاکتور تبدیل واحدها است.

درجه روز رشد^۱ (GDD) نیز با استفاده از معادله زیر محاسبه شد (Kouchaki & Nasiri Mahalati, 1992):

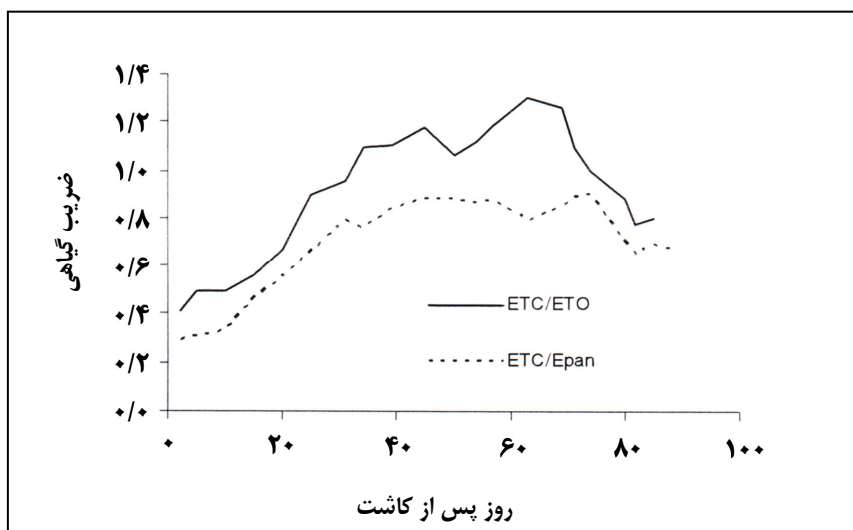


شکل شماره ۳- تغییرات ET_C ، ET_O و E_{pan} طی دوره رشد ذرت

- تبخیر-تعرق ذرت به صورت تابعی از تبخیر-تعرق مرجع

نسبت ET_C به ET_O و نسبت ET_C به E_{pan} طی دوره رشد در شکل شماره ۴ ارائه شده است. K_C به صورت نسبت ET_C/ET_O محاسبه گردید. K_C محاسبه شده بیش از $\frac{ET_C}{E_{pan}}$ به دست آمد. متوسط K_C در اواسط دوره رشد ۱/۱۳ به دست آمد که کمتر از مقدار ۱/۲ است که آلن و همکاران (Allen et al., 1994) توصیه کرده‌اند. اختلاف در مقدار K_C ممکن است در ارتباط با داده‌های ایستگاه هواشناسی باشد. زمانی که معادله پنمن - مانیت، پنمن، یا سایر معادله‌های تخمین تبخیر-تعرق برای پیش‌بینی ET_O به کار می‌روند، باید پارامترهای سرعت باد، رطوبت، و دما از روی یک سطح مرجع اندازه‌گیری شده باشند (Allen, 1996). همچنین بر اساس تعریف تبخیر-تعرق مرجع، پارامترهای سرعت باد، دمای هوا، و رطوبت نسبی که در معادله

پنمن - مانیت استفاده می‌شوند باید از ایستگاهی قرائت شوند که در وسط یک سطح یکنواخت چمن (با ارتفاع ۸ تا ۱۵ سانتی‌متر) بدون تنش آب واقع شده باشد (Allen, 1996). با توجه به تعریف مذکور، ایستگاه هواشناسی ورامین ایستگاهی غیرمرجع است و استفاده از داده‌های هواشناسی ایستگاه‌های غیرمرجع موجب فرا برآورد ET_O می‌شود. بر این اساس، ممکن است علت کاهش K_C محاسبه شده نسبت به K_C گزارش شده توسط آلن و همکاران (Allen et al., 1994) مربوط به فرا برآورد ET_O با استفاده از معادله فائو - پنمن - مانیت باشد. مقادیر ET_C تجمعی، ET_O تجمعی، و K_C محاسبه شده با استفاده از معادله FPM برای مراحل مختلف رشد تا برداشت سیلویی در جدول شماره ۲ ارائه شده است. بیشترین و کمترین مقدار K_C به ترتیب ۱/۱۳ و ۰/۴۵ به دست آمد.



شکل شماره ۴- تغییرات ضریب گیاهی (K_c) و نسبت ET_c/E_{pan} ذرت علوفه‌ای طی دوره رشد

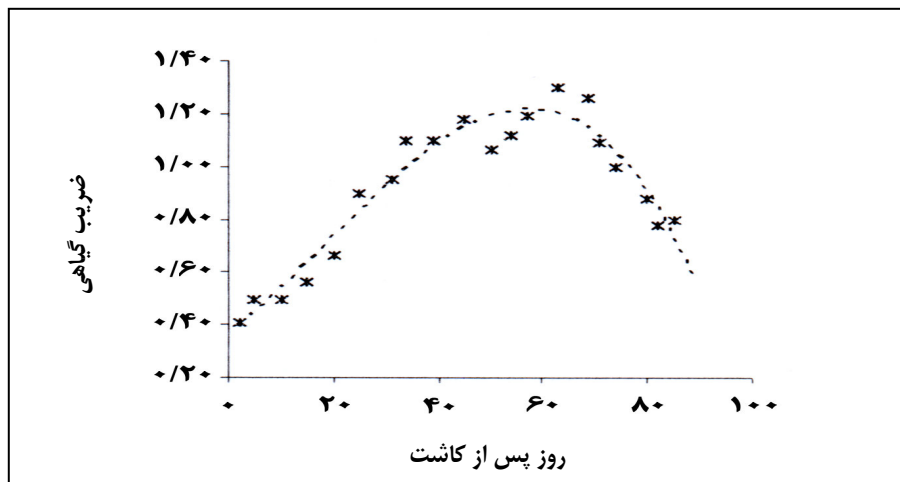
ضریب گیاهی در مراحل اولیه ($K_{c\ ini}$)، توسعه ($K_{c\ adv}$)، میانی ($K_{c\ mid}$)، و نهایی ($K_{c\ lat}$) ذرت برای مناطق نیمه خشک شمال چین به ترتیب ۰/۵، ۱/۰۲، ۱/۲۶، و ۰/۶۸ گزارش شده است (Li et al., 2003). کانگ و همکاران (۲۰۰۳) برای مناطق نیمه خشک چین در شرایط رطوبتی که پتانسیل ماتریک خاک کمتر از ۰/۱- مگاپاسکال بود، بیشترین، کمترین و متوسط مقدار K_c ذرت را به ترتیب ۱/۴۳، ۰/۴۵ و ۱/۰۴ گزارش کردند (Kang et al., 2003).

همکاران (Allen et al., 1998) برابر ۰/۶ گزارش کرده‌اند. K_{clat} تحت تأثیر زمان برداشت محصول است (Allen, 1996) و آنچه آلن و همکاران (Allen et al., 1998) در این خصوص گزارش کرده‌اند، بیانگر متوسط مقدار K_c از شروع مرحله نهایی تا زمان رسیدگی فیزیولوژیک است. در صورتی که ذرت در این تحقیق به دلیل اینکه برای سیلوکردن در نظر گرفته شده بود قبل از زمان رسیدگی فیزیولوژیک برداشت شد و از این رو مقدار K_{clat} بیشتر از مقادیری به دست آمد که آلن و همکاران (Allen et al., 1998) به دست آورده‌اند.

$K_{c\ lat}$ برابر ۰/۷ به دست آمد، در حالی که آلن و

جدول شماره ۲- مقادیر محاسبه شده ET_c ، ET_o و K_c ذرت علوفه‌ای طی فصل رشد

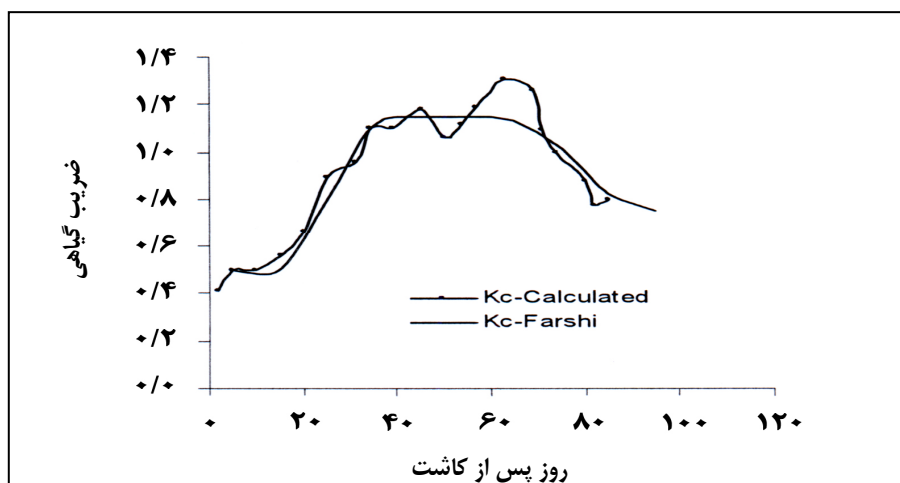
مرحله	طول دوره (روز)	ET_c (میلی متر)	ET_o (میلی متر)	K_c
اولیه	۲۰	۸۳	۱۸۵	۰/۴۵
توسعه	۳۰	۲۷۲	۳۰۲	۰/۹
میانی	۳۰	۲۹۴	۲۶۰	۱/۱۳
نهایی	۱۰	۴۷	۶۷	۰/۷



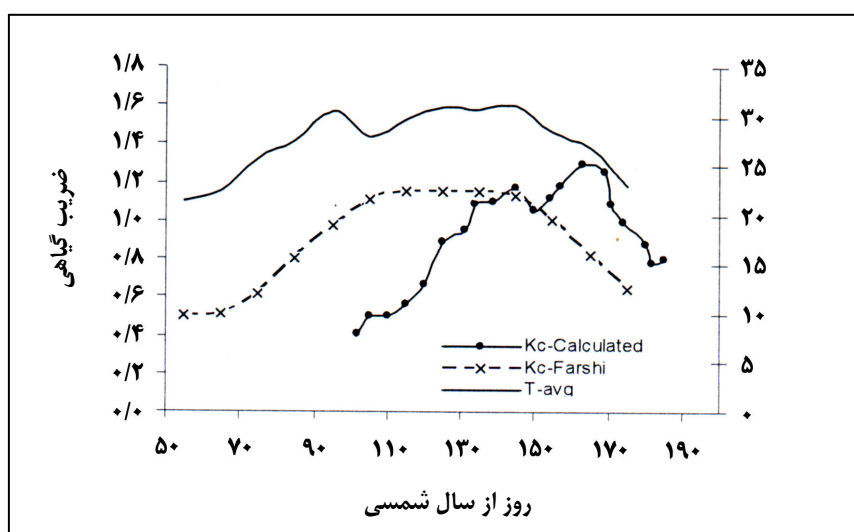
شکل شماره ۵- تغییرات ضریب گیاهی نسبت به روزهای پس از کاشت

ضرایب گیاهی و متوسط دما به صورت تابعی از روزهای سال بدون اصلاح طول دوره رشد ذرت دانه‌ای ارائه شده است. متوسط دما در مرحله توسعه ذرت دانه‌ای (۲۶ درجه سانتی‌گراد) کمتر از متوسط دما در مرحله توسعه ذرت علوفه‌ای (۳۱ درجه سانتی‌گراد) است. همچنین بیشتر بودن متوسط دما در مراحل توسعه و میانی رشد ذرت علوفه‌ای نسبت به ذرت دانه‌ای سبب شده است که طول مدت مراحل رشد (مراحل توسعه و میانی) ذرت علوفه‌ای کوتاه‌تر شود.

در شکل شماره ۶، ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای محاسبه شده با مقدار ضریب گیاهی ذرت دانه‌ای که صباغ فرشی و همکاران (Sabbagh-Farshi *et al.*, 1997) گزارش کرده‌اند، مقایسه شده است. در این شکل، زمان کاشت ذرت دانه‌ای بر زمان کاشت ذرت علوفه‌ای منطبق و مدت زمان دوره‌های رشد ذرت دانه‌ای بر اساس ذرت علوفه‌ای در نظر گرفته شده است. منحنی ضریب گیاهی ارائه شده توسط صباغ فرشی انطباق خوبی با منحنی داده‌های مزرعه‌ای دارد. در شکل شماره ۷



شکل شماره ۶- مقایسه ضریب گیاهی ذرت دانه‌ای و ذرت علوفه‌ای (K_{c-calc})



شکل شماره ۷- تغییرات میانگین دما و ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای و دانه‌ای در روزهای سال شمسی

متغیر مستقل است. DAS, DASP, و GDD در معادله شماره ۵ جایگزین X می‌شوند. توابع پیشنهادی را می‌توان در برنامه‌های کامپیوتری برآورد نیاز آبی ذرت به منظور محاسبه ET_C روزانه ذرت به کار برد.

هیل و همکاران (Hill et al., 1983) برای محاسبه ضریب گیاهی پایه (K_{cb}) ده گیاه مختلف بر اساس گیاه مرجع یونجه، چند معادله درجه سوم پیشنهاد و بیشترین و کمترین مقدار K_{cb} ذرت را با گیاه مرجع یونجه به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۱۵ گزارش کردند. در شرایطی که باد آرام باشد، مقدار تبخیر-تعرق چمن مرجع، ۸۷ درصد تبخیر-تعرق یونجه مرجع است. بنابراین، ضریب K_{cb} ارائه شده توسط هیل و همکاران (Hill et al., 1983) پس از تصحیح برای گیاه مرجع چمن، ۱/۰۶ و ۰/۱۸ خواهد شد. سپاسخواه و اندام (Sepaskhah & Andam, 2001) برای محاسبه ضریب گیاهی کنجد، معادله‌ای درجه سوم پیشنهاد کرده‌اند.

تغییرات K_C را می‌توان به صورت تابعی از روز پس از کاشت^۱ (DAS) یا روز از سال (Wright, 1982)، روز پس از کاشت بر حسب درصد^۲ (DASP) و درجه روز رشد (GDD) (Sammis et al., 1985) ارائه کرد. به منظور کاهش تأثیرات اقلیمی و تاریخ کاشت بر مقدار K_C ، ضریب گیاهی به صورت تابعی از DAS, DASP, GDD استخراج شد. در شکل‌های شماره ۵ و ۸ تابع تغییرات ضریب گیاهی (K_C) در مقابل روزهای دوره رشد (DAS) و درجه روز رشد (GDD) ارائه شده است. بین نقاط به دست آمده، یک معادله درجه سوم (معادله شماره ۵) برازش داده شد و ضرایب معادله‌ها به صورت تابعی از DAS, DASP و GDD در جدول شماره ۳ ارائه شده‌اند.

$$Kc = aX^3 + bX^2 + cX + d \quad (5)$$

که در آن: a , b , c و d ضرایب ثابت معادله و X

جدول شماره ۳- ضرایب معادله‌های ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای به صورت تابعی از DAS، DASP، و GDD

متغیر	a	b	c	d	N*	R ²	P
DAS	$-5/84 \times 10^{-6}$	$4/77 \times 10^{-4}$	$6/25 \times 10^{-3}$	0/318	۱۲۲	0/۸۸	<0/۰۰۱
DASP	$-4/26 \times 10^{-6}$	$3/87 \times 10^{-4}$	$5/62 \times 10^{-3}$	0/318	۱۲۲	0/۸۸	<0/۰۰۱
GDD	$-2/06 \times 10^{-9}$	$3/75 \times 10^{-6}$	$-9/52 \times 10^{-4}$	0/443	۱۲۲	0/۹۰	<0/۰۰۱

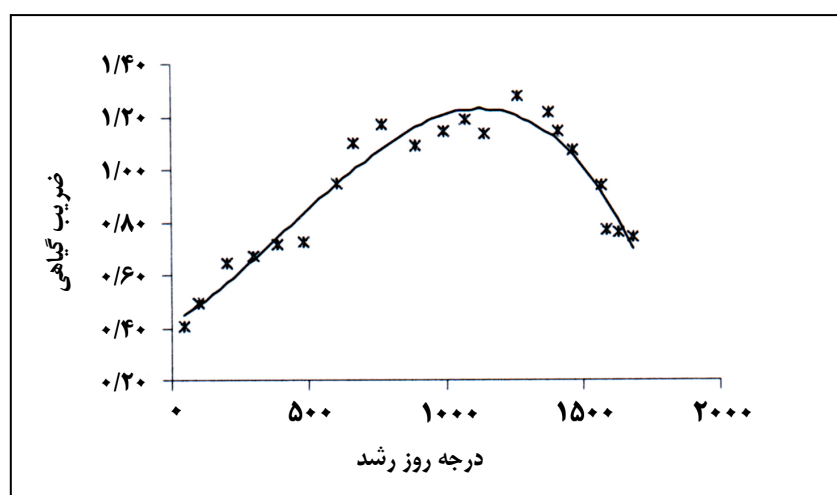
* تعداد مشاهدات منهای یک

ارتباط بین نسبت ET_c/ET_0 و شاخص سطح برگ LAI در شکل شماره ۹ نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد زمانی که LAI به سمت ۲ میل می‌کند، ET_c/ET_0 به یک معادله لگاریتمی حاکم بر روند تغییرات به شرح زیر نزدیک می‌شود. شدت افزایش ET_c/ET_0 ، هنگامی که LAI از ۰/۵ به ۲ میل می‌کند، ۳ است:

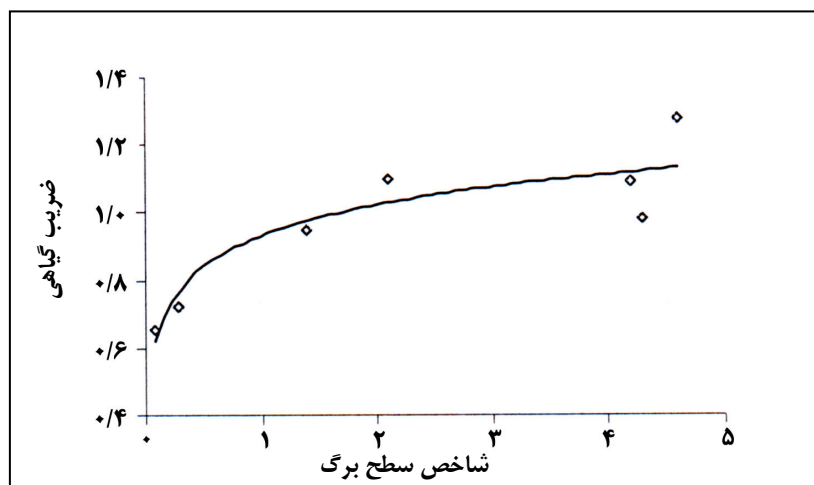
$$\frac{ET_c}{ET_0} = 0.130878 \ln(LAI) + 0.93251$$

$$R^2 = 0.82 \quad (6)$$

برابر زمانی است که LAI از ۲/۵ به ۴ میل می‌کند.



شکل شماره ۸- تغییرات ضریب گیاهی نسبت به درجه روز رشد (GDD)



شکل شماره ۹- تغییرات ضریب گیاهی نسبت به شاخص سطح برگ

تبخیر- تعرق ذرت تابعی از تبخیر از تشتک (Doorenbos & Pruitt, 1977)، مقدار ضریب تشتک (K_{pan}) ۰/۶۵ برآورد می‌شود. در جدول شماره ۴، تغییرات ET_C / E_{pan} و ET_O / E_{pan} برای دوره‌های ۱۵ روزه و در شکل شماره ۴ ضریب K_C و نسبت ET_C / E_{pan} در طول دوره رشد ذرت نشان داده شده است. نسبت ET_C / E_{pan} همواره کمتر از K_C و کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب ۰/۳۹ و ۰/۸۸ به‌دست آمد. متوسط ET_O / E_{pan} برابر ۰/۷۳ حاصل شد که از مقدار K_{pan} توصیه شده توسط دورنبوس و پروت (Doorenbos & Pruitt, 1977) بیشتر است. اختلاف بین K_{pan} محاسبه شده و استخراج شده از جدول‌های دورنبوس و پروت (Doorenbos & Pruitt, 1977) می‌تواند به دلیل شرایط اطراف ایستگاه هواشناسی باشد. سطح اطراف تشتک تبخیر بدون پوشش گیاهی بود. اما در فاصله دویست متری ایستگاه یک کانال آبرسان (عرض سطح آزاد آب ۵ متر)، فضاهای سبز پراکنده و زمین‌های زراعی وجود داشت.

تبخیر- تعرق ذرت تابعی از تبخیر از تشتک اگرچه برآورد ET_C براساس ET_O به‌جای استفاده از E_{pan} توصیه شده است و نیز گفته شده که دقت تخمین تبخیر- تعرق مرجع با استفاده از تشتک، کم است (Alizadeh et al., 2001)، اما استن‌هیل (Stanhill, 2002) هنوز بر این باور است که می‌توان استفاده از داده‌های تشتک تبخیر را جهت اعمال مدیریت آبیاری به منظور افزایش راندمان آبیاری توصیه کرد. وی نبود ایستگاه‌های هواشناسی در اکثر مناطق کشورهای در حال توسعه و سهولت و ارزانی استفاده از تشتک تبخیر را از جمله دلایل توصیه استفاده از تشتک تبخیر ذکر می‌کند. بنابراین، دانستن نسبت ET_C به E_{pan} برای برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری در مناطقی که داده‌های تبخیر از تشتک در دسترس دارند، مفید است. با توجه به متوسط رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد روزانه، وضعیت پوشش گیاهی اطراف تشتک تبخیر، و استفاده از جدول ارائه شده توسط دورنبوس و پروت

در شکل شماره ۱۰ نسبت ET_C / E_{Pan} در معادله شماره ۷ روند تغییرات ET_C / E_{Pan} را در مقابل درصد دوره رشد (DASP) ارائه شده است. مقابل درصد دوره رشد بیان می‌کند:

$$\frac{ET_C}{E_{Pan}} = -7.3 \times 10^{-7} (DASP)^3 - 3.279 \times 10^{-5} (DASP)^2 + 0.014339(DASP) + 0.275 \quad \text{و} \quad R^2 = 0.8 \quad (۷)$$

جدول شماره ۴- مقادیر K_C ، ET_0 / E_{pan} و ET_C / E_{pan} در دوره رشد ذرت علوفه‌ای

روز پس از کاشت	K_C	$\frac{ET_C}{E_{Pan}}$	$\frac{ET_0}{E_{Pan}} = (K_{pan})$
۰-۱۵	۰/۴	۰/۳۹	۰/۹۷
۱۵-۳۰	۰/۷۰	۰/۶۷	۰/۹۵
۳۰-۴۵	۰/۹۸	۰/۸۷	۰/۸۸
۴۵-۶۰	۱/۱۹	۰/۸۴	۰/۷۰
۶۰-۷۵	۱/۱	۰/۸۸	۰/۸
۷۵-۹۰	۰/۷۷	۰/۷۷	۰/۹۱

۵۰ درصد تخلیه رطوبت از خاک به دست آمد. تبخیر- تعرق ذرت علوفه‌ای در دوره رشد ۹۰ روزه، ۶۹۵ میلی‌متر بود. تا زمان آزمایش مقدار تبخیر- تعرق ذرت علوفه‌ای در ورامین گزارش نشده بود، اما تبخیر- تعرق ذرت دانه‌ای با دوره رشد ۱۲۶ روز برای این منطقه، ۸۱۳ میلی‌متر تعیین شده است (Sabbagh Farshi et al., 1997). با فرض اینکه، تبخیر- تعرق ذرت علوفه‌ای را می‌توان با استفاده از تبخیر- تعرق ذرت دانه‌ای تخمین زد، مجموع تبخیر- تعرق ذرت دانه‌ای از زمان کاشت تا مرحله برداشت سیلویی محاسبه و به عنوان تبخیر- تعرق ذرت علوفه‌ای لحاظ شد. بر اساس فرض مذکور، مقدار تبخیر- تعرق ذرت دانه‌ای از زمان کاشت تا مرحله برداشت سیلویی ۶۷۱ تخمین زده شد

ارتباط بین ET_C / E_{Pan} و شاخص سطح برگ (LAI) در شکل شماره ۱۱ نشان داده شده است. معادله لگاریتمی حاکم بر روند تغییرات به صورت زیر است:

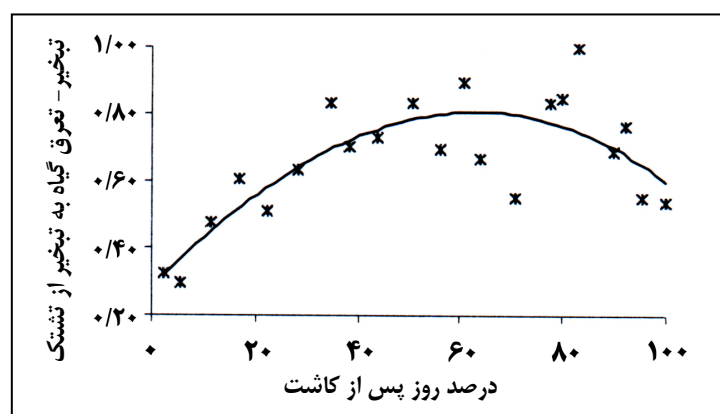
$$\frac{ET_C}{E_{Pan}} = 0.1119 \ln(LAI) + 0.6818 \quad R^2 = 0.88 \quad (۸)$$

بیشترین مقدار ET_C / E_{Pan} در دوره میانی رشد زمانی رخ داده که LAI حداکثر است.

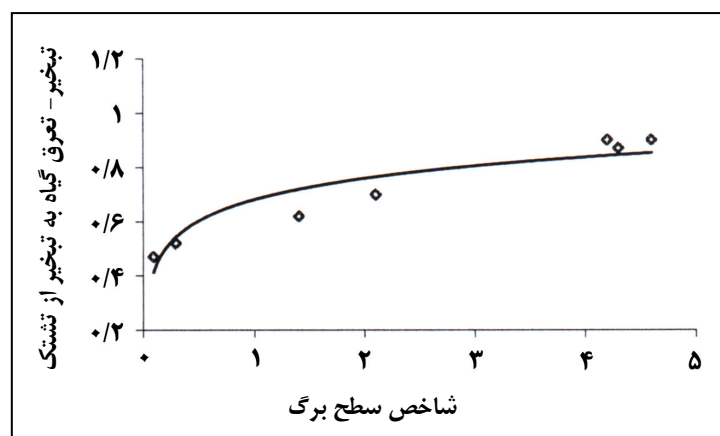
- تبخیر- تعرق ذرت علوفه‌ای

مقدار آب مورد نیاز گیاه تابع تبخیر- تعرق آن و بارندگی‌هاست. در این تحقیق، زمان آبیاری و مقدار آب مورد نیاز در هر نوبت آبیاری بر اساس

(Sabbagh Farshi *et al.*, 1997) که ۲۴ میلی‌متر کمتر از مقدار محاسبه شده در این تحقیق است. بیشترین و کمترین مقدار ET_C روزانه به ترتیب ۱۱ و ۳/۴ میلی‌متر در روز به دست آمد. تبخیر- تعرق ذرت برای مناطق نیمه خشک ترکیه با سیستم آبیاری بارانی ۵۲۵ و ۵۷۴ میلی‌متر (Cakir, 2004) و برای مناطق جنوب غرب ترکیه با سیستم آبیاری قطره‌ای ۵۸۱ میلی‌متر (Yazar *et al.*, 2002) گزارش شده است. مقدار ET_C ذرت در مناطق نیمه خشک چین ۵۷۲ میلی‌متر (Li *et al.*, 2003) و ۴۲۴ میلی‌متر (Kang *et al.*, 2003) گزارش شده است. مقدار ET_C گزارش شده در مناطق مختلف به دلیل تفاوت در زمان کاشت و شرایط آب و هوایی، متفاوت است. مقایسه نتایج به دست آمده در این مطالعه با نتایج دیگر پژوهشگران نشان می‌دهد که تابع زمانی تغییرات ضریب گیاهی در مناطق مختلف یا در منطقه‌ای مشخص با تاریخ کاشت مختلف می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین، استخراج K_C منطقه‌ای و محاسبه ET_C برای شرایط اقلیمی مختلف و زمان‌های کاشت متفاوت و نیز ارائه K_C به صورت تابعی از DAS ، GDD و $DASP$ ضروری است.



شکل شماره ۱۰- تغییرات "تبخیر - تعرق گیاه به تبخیر از تشتک" نسبت به درصد دوره رشد ($DASP$)



شکل شماره ۱۱- تغییرات "تبخیر تعرق گیاه به تبخیر از تشتک" نسبت به شاخص سطح برگ

نتیجه‌گیری

آمد.

تبخیر- تعرق ذرت علوفه‌ای طی دوره رشد ۹۰ روزه این پژوهش ۶۹۵ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. تبخیر از تشک و تبخیر- تعرق مرجع (ET_0) در طول فصل رشد ذرت با استفاده از معادله فائو-پنمن-مانیت و داده‌های ایستگاه هواشناسی ورامین به ترتیب ۹۳۰ و ۸۱۵ میلی‌متر به دست آمد. ضریب گیاهی ذرت علوفه‌ای برای مراحل اولیه، توسعه، میانی، و نهایی دوره رشد ذرت علوفه‌ای به ترتیب ۰/۴۵، ۰/۹، ۱/۱۳، و ۰/۷ به دست آمد. نسبت ET_C/E_{pan} در دوره‌های مختلف رشد متفاوت و همواره کوچک‌تر از یک به دست آمد.

نسبت ET_C/E_{pan} در ابتدای دوره رشد ۰/۳۹ و در اواسط دوره رشد ۰/۸۸ بود. بیشترین مقدار ET_C/E_{pan} و ET_C/ET_0 در LAI برابر ۴ رخ داد. نتایج دلالت بر وجود معادله‌ای منطقی بین K_C با شاخص‌های GDD، DASP، DAS، و LAI، و ET_C/E_{pan} با شاخص‌های GDD، LAI، و DAS دارد. بیشترین و کمترین مقدار تبخیر- تعرق روزانه ذرت علوفه‌ای طی دوره رشد به ترتیب ۱۱ و ۳/۴ میلی‌متر در روز بود. از روابط به دست آمده می‌توان جهت تخمین ET_C در مدل‌های کامپیوتری استفاده کرد.

قدردانی

اجرای این تحقیق با همکاری مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، دفتر بهبود و توسعه روش‌های آبیاری، شرکت فناناب گستران زاگرس، و مرکز تحقیقات کشاورزی ورامین میسر شده است که بدین وسیله صمیمانه از آنها تشکر می‌شود.

مراجع

- 1- Alizadeh, A., Mirshahi, B. and Hasheminia, M. 2001. Evaluation of potential evapotranspiration computed by Hargreaves-Samani method and pan evaporation in Khorasan synoptic weather stations. Nivar. 43, 51-71. (In: Farsi)
- 2- Allen, R. G. 1996. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. J. Irrig. Drain. Eng. 122, 97-106.
- 3- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements, irrigation and drainage. Paper No. 56 Rome. Italy. 300 p.
- 4- Allen, R. G., Smith, M. and Pereira, L. S. 1994. An update for the definition of reference evapotranspiration. ICID Bull. 43, 1-34.
- 5- Bandyopadhyay, P. K. and Mallick, S. 2003. Actual evapotranspiration and crop coefficients of wheat (*Triticum aestivum*) under varying moisture levels of humid tropical canal command area. Agric. Water Manag. 59, 33-47.

- 6- Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89, 1-16.
- 7- Doorenbos, J. and Pruitt, W. O. 1977. Crop water requirement. Food and Agricultural Organization of the United Nations. FAO Irrigation and Drainage. Paper No. 24. Rome. 144p.
- 8- Hargreaves, G. H. and Samani, Z. A. 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature. *Trans. of the ASAE*. 1 (2): 96-99.
- 9- Hill, R. W. Johns, E. L. and Frevert, D. K. 1983. Comparison of equations used for estimating agricultural crop evapotranspiration with field research. Bureau of Reclamation Engineering and Research Center, Denver. Co. 80225. 41p.
- 10- Hunt, R. 1990. Basic growth analysis. Academic Division of Unwin Hyman Ltd. 112p.
- 11- Jensen, M. E., Burman, R. D., and Allen, R. G. 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE Manuals and Reports on Engineering Practice No. 70. 332p.
- 12- Kang, S., Gu, B., Du, T. and Zhang, J. 2003. Crop coefficient and ratio of transpiration to evapotranspiration of winter wheat and maize in a semi-humid region. *Agric. Water Manag.* 59, 239-254.
- 13- Kouchaki, E. and Nasiri Mahalati, M. 1992. Ecology of field crops. Jahade Daneshgahi Mashhad. (In: Farsi)
- 14- Li, Y. L., Cui, J. Y. Zhang, T. H. and Zhao, H. L. 2003. Measurement of evapotranspiration of irrigated spring wheat and maize in a semi-arid region of north China. *Agric. Water Manag.* 61, 1-12.
- 15- Penman, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil, bare soil and grass. *Proc. R. Soc. London Ser. A*. 193, 120-146.
- 16- Prihar, S. S. and Sandhu, B. S. 1987. Irrigation of field crops-principles and practices. I. C. A. R. New Delhi. India.
- 17- Proffitt, A. P. B., Berliner, P. R. and Oosterhuis, D. M. 1985. A comparative efficiency of wheat grown under high and low frequency irrigation. *Agron. J.* 77, 655-662.
- 18- Sabagh-Farshi, A. A., Shariati, M. R., Jarollahi, R., Ghaemi, M. R. Shahabifar, M., and Tavallaei, M. M. 1997. An estimate of water requirement of main field crops and orchards in Iran. Soil and Water Research Institute. Agricultural Education Organization. Karaj. (In: Farsi)

- 19- Sammis, T. W., Mapel, C. L., Lugg, D. G., Lanstord, R. R., and McGukin, J. T. 1985. Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing degree-days. Trans. of the ASAE. 28, 773-780.
- 20- Sepaskhah, A. R. and Andam, M. 2001. Crop coefficient of sesame in a semi-arid region of I. R. Iran. Agric. Water Manag. 49, 51-63.
- 21- Smith, M., Allen, R. G., Monteith, J. L., Perrier, A., Santos Pereira, L. and Sageren, A. 1992. Expert consultation on revision of FAO methodologies for Crop Water Requirements. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Land and Water Development Division. Rome. Italy. 60p.
- 22- Stanhill, G. 2002. Is the class a evaporation pan still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirements?. Agricultural and Forest Meteorology. 112, 233-236.
- 23- Wright, J. L. 1982. New evapotranspiration crop coefficients. J. Irrig. Drain. Div. ASCE. 108, 57-74.
- 24- Yazar, A., Sezen, S. and Gencel, B. 2002. Drip irrigation of corn in the Southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. Irrig. Drain. 51, 293-300.

Determination of Crop Water Use and Crop Coefficient of Corn Silage Based on Crop Growth Stages

M. Gheysari, S. M. Mirlatifi, M. Homaei, and M. E. Asadi

Crop water use and crop coefficients are required for implementing irrigation as well as scheduling and practicing proper irrigation management. Crop coefficients of some crops have been reported by FAO only for four growth stages; namely initial, development, middle, and late stages. Crop coefficients are affected by many factors including soil, irrigation management, climatological conditions, and growing season. The purpose of this study was to determine crop coefficient based on growth stages and to measure crop water use of sprinkler irrigated corn silage in a semi-arid region. The corn crop water use was determined by monitoring soil moisture in 24 filed plots up to the depth 180 cm. Daily reference evapotranspiration was estimated by *FAO-penman-monteith* equation. Various mathematical relationships were developed to estimate the corn crop coefficient and “the ratio of corn water use to pan evaporation” as functions of “days after sowing”, “growing degree-day”, and “leaf area index” with coefficient of determination ranging from 0.8 to 0.93. The corn crop coefficients for initial, development, middle, and late stages were found to be 0.45, 0.9, 1.13, and 0.7, respectively. The extreme values of the ratio of “corn water use to cumulative pan evaporation” were 0.39 for initial stage and 0.88 for middle stage. The cumulative corn crop water use during the 90 days of growing season according to the soil moisture volume balance was 695 mm. However for the same period, the corn crop water use was estimated to be 815 mm by the *FAO-PM* equation.

Key words: Crop Coefficient, Crop Water Requirement, Evapotranspiration