

تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی روزانه دو وارسته آفتابگردان یوروفلور و سیرنا تحت مدیریت آبیاری قطره‌ای - نواری

مینا کیانی^۱، مهدی قیصری^{۱*}، بهروز مصطفی‌زاده‌فرد^۱، محمد مهدی مجیدی^۲ و اسماعیل لندی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۴/۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۱۳)

چکیده

هدف این تحقیق، اندازه‌گیری تبخیر-تعرق روزانه و فصلی و ضریب گیاهی روزانه دو وارسته رایج آفتابگردان (یوروفلور و سیرنا) تحت مدیریت سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری بود. برای انجام این تحقیق با اجرای سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری، رطوبت خاک در اعماق ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری با دستگاه رطوبت‌سنج PR2 به صورت روزانه در طول دوره رشد اندازه‌گیری شد و تبخیر-تعرق گیاه به روش بیلان آب خاک به دست آمد. متوسط ضریب گیاهی وارسته‌های یوروفلور و سیرنا، بر اساس معادله‌های توصیه شده توسط فائو در مرحله اولیه ۰/۳۲، بر اساس معادلات بیلان آب خاک برای وارسته یوروفلور در مرحله توسعه برابر ۰/۷۵، در مرحله میانی برابر ۱/۱۸ و در مرحله نهایی برابر ۰/۹۰، و برای وارسته سیرنا به ترتیب ۰/۷۲، ۱/۱۵ و ۰/۸۴ به دست آمد. مقدار فصلی تبخیر-تعرق واقعی وارسته‌های یوروفلور و سیرنا بر اساس معادلات بیلان آب خاک برابر ۶۰۱ و ۵۷۵ میلی‌متر بود که به ترتیب ۲۶ و ۳۰ درصد کمتر از مقدار فصلی تبخیر-تعرق مرجع در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. متوسط نسبت تبخیر-تعرق مرجع به تشت تبخیر در این منطقه ۰/۷۷ به دست آمد که از مقدار ضریب تشت تبخیر ارائه شده توسط دورنبوس و پروت (۰/۵۵) بیشتر بود. با توجه به متفاوت بودن مقدار ضریب گیاهی دو وارسته مورد بررسی در طی دوره رشد و همچنین متفاوت بودن با ضرایب ارائه شده توسط فائو، اندازه‌گیری مقدار واقعی ضریب گیاهی در منطقه به صورت تابعی از دوره رشد سبب افزایش دقت اندازه‌گیری تبخیر-تعرق آفتابگردان و امکان توسعه مدل‌های گیاهی به منظور مدیریت آبیاری خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: آفتابگردان، بیلان آب خاک، تبخیر-تعرق، ضریب تشت، ضریب گیاهی اصلاح شده فائو

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. گروه مهندسی زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: gheysari@cc.iut.ac.ir

مقدمه

آفتابگردان یکی از مهم‌ترین گیاهان روغنی ایران و جهان بوده و با وجود نیاز آبی نسبتاً بالا، می‌تواند به خوبی با شرایط خشکی سازگار شود (۷). این محصول در اصفهان به عنوان کشت دوم، در تابستان یعنی زمانی که میزان آب بحرانی‌ترین شرایط را دارد کشت می‌شود. در اقلیم‌های خشک مانند اصفهان به دلیل تقاضای تبخیر بالای اتمسفر، نیاز آبیاری گیاهان افزایش می‌یابد در حالی که منابع آب قابل استفاده در این مناطق محدود می‌باشد. بنابراین استفاده از راهکارهایی برای بهره‌وری بهینه از منابع آب و رسیدن به عملکرد اقتصادی ضروری است. یکی از کارآمدترین راهکارها، انجام مدیریت صحیح آبیاری بر اساس نیاز گیاه می‌باشد (۲۲). با توجه به توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار در کشور و امکان اعمال مدیریت دقیق آبیاری به خصوص در سیستم آبیاری موضعی، ضرورت دارد آب دقیقاً بر اساس نیاز گیاه در اختیار آن قرار داده شود تا بالاترین کارایی مصرف آب حاصل گردد. در این راستا اطلاع از نیاز واقعی آب گیاه و تعیین ضرایب گیاهی در طی دوره رشد به صورت تابعی از زمان و مقدار انرژی دریافتی برای وارسته‌های رایج گیاهان استراتژیک لازم است تا امکان اعمال مدیریت صحیح آبیاری با هدف افزایش تولید به ازای حجم واحد آب مصرفی میسر شود (۵).

تبخیر- تعرق گیاه (ET_C) مقدار آبی است که در فرآیند تبخیر از سطح خاک و تعرق توسط گیاه وارد اتمسفر مصرف می‌شود. نوع سیستم آبیاری و مدیریت آبیاری بر بخش تبخیر آب از سطح خاک و گیاه، و نوع گیاه و وارسته آن بر بخش تعرق تأثیر می‌گذارند. مطالعات انجام شده در مناطق نیمه خشک ترکیه نشان داد که مقدار ET_C در سیستم آبیاری بارانی ذرت بیشتر از سیستم آبیاری قطره‌ای می‌باشد (۱۰ و ۲۴). تبخیر- تعرق گیاه عامل اصلی در تعیین نیاز آبی گیاه و تدوین برنامه آبیاری مناسب و بهبود راندمان مصرف آب در آبیاری است (۹). با اندازه‌گیری تغییرات رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه و استفاده از معادله موازنه آب خاک و یا استفاده از

لایسیمتر به روش بیلان آب می‌توان تبخیر- تعرق واقعی گیاه را به دست آورد (۱، ۴، ۵ و ۱۵). در شرایطی که امکان اندازه‌گیری مقدار واقعی تبخیر- تعرق گیاه وجود نداشته باشد، می‌توان تبخیر- تعرق گیاه مرجع (ET_0) را محاسبه نموده سپس با استخراج ضریب گیاهی (با توجه به مرحله رشد گیاه)، تبخیر- تعرق گیاه را برآورد نمود. برای محاسبه ET_0 استفاده از معادله‌های تخمین تبخیر- تعرق متناسب با منطقه مورد مطالعه راهکاری مناسب می‌باشد. دقت روش فائو- پنمن- مانیتث برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع توسط محققان قبلی تایید شده است (۱۸). اما در مناطقی که داده‌های هواشناسی مورد نیاز در معادله فائو- پنمن- مانیتث در دسترس نباشد می‌توان از داده‌های تشت تبخیر برای برآورد تبخیر- تعرق مرجع استفاده نمود.

ضریب گیاهی (K_C)، نسبت تبخیر- تعرق گیاه به تبخیر- تعرق گیاه مرجع است که معمولاً چمن یا یونجه به عنوان گیاه مرجع در نظر گرفته می‌شود (۱۳). ضریب گیاهی برای یک کشت بدون تنش آب و تنش مواد غذایی در شرایط بدون بیماری و آفت تعیین می‌شود (۸). آلن و همکاران (۸) K_C را برای تعدادی از گیاهان و تحت تأثیر شدت تقاضای تبخیر اتمسفر در نشریه ۵۶ سازمان جهانی خواربار و کشاورزی (FAO) ارائه نمودند (۸). ضریب گیاهی متأثر از نوع وارسته گیاهی کشت شده، تاریخ کاشت، شرایط اقلیمی و روش آبیاری می‌باشد (۸ و ۱۳). بنابراین مقادیر ارائه شده حالت کلی داشته و طبق توصیه این نشریه، باید K_C در هر منطقه از طریق انجام کار تحقیقاتی و با توجه به شرایط اقلیمی تعیین شود.

تیاگی و همکاران (۲۲) ضریب گیاهی آفتابگردان با دوره رشد ۱۰۵ روز را در منطقه نیمه خشک هند به روش لایسیمتری به صورت روزانه گزارش کردند. نتایج آنها نشان داد مقدار اندازه‌گیری شده K_C بین ۲/۷۴ تا ۱۱ درصد بیشتر از مقادیر ارائه شده توسط فائو بود. ماگود و همکاران (۱۵) در منطقه خشک و نیمه خشک مصر، K_C آفتابگردان را تحت آبیاری با دو سیستم قطره‌ای و غرقابی استخراج نمودند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که K_C در سیستم آبیاری قطره‌ای ۲

درصد کمتر از آبیاری غرقابی است و تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین ضریب گیاهی دو سیستم وجود ندارد. در جنوب ایتالیا نسبت تبخیر-تعرق فصلی آفتابگردان (۸۹۱ میلی‌متر) به تبخیر-تعرق گیاه مرجع (۶۸۵ میلی‌متر) برابر ۱/۳ گزارش شده است (۲۰).

در شرایطی که اطلاعات منطقه‌ای وجود ندارد استفاده از ضرایب گیاهی فائو برای محاسبه تبخیر-تعرق گیاه بسیار راهگشا است. از طرفی در نشریه فائو ضرایب به طور متوسط برای چند مرحله از دوره رشد گیاه ارائه شده‌اند که قابلیت کاربرد در یک مدیریت دقیق آبیاری را ندارند. با توجه به متغیر بودن K_c در شرایط اقلیمی و زمان‌های کاشت مختلف، ارائه K_c به عنوان تابعی از طول دوره رشد و مقدار انرژی دریافتی سبب افزایش دقت اندازه‌گیری تبخیر-تعرق گیاه و امکان توسعه مدل‌های گیاهی به منظور مدیریت آبیاری خواهد شد (۵ و ۲۲).

هدف از این مطالعه اندازه‌گیری مقدار تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی بصورت تابعی از روز پس از کاشت و مقدار انرژی دریافتی دو وارته آفتابگردان، یوروفلور و سیرنا تحت مدیریت آبیاری قطره‌ای-نواری بود.

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۰ در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان واقع در منطقه لورک (۴۰ کیلومتری جنوب غربی شهر اصفهان) انجام شد. این منطقه دارای موقعیت جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۶۳۰ متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. این منطقه بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی تورنت وایت دارای آب و هوای خشک می‌باشد (۲۱). بافت خاک مزرعه لوم رسی بود. برخی ویژگی‌های مهم فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه در جدول ۱ ارائه شده است.

آزمایش در یک سطح وسیع کشت آفتابگردان (۱۰۰۰ متر مربع) برای دو وارته یوروفلور و سیرنا با دو تکرار انجام شد. در تمام کرت‌های مورد آزمایش در هر نوبت آبیاری، ۱۰۰

درصد کمبود آب خاک (soil moisture depletion, SMD) تا حد ظرفیت زراعی مزرعه (1.0SMD) تأمین می‌شد. گیاه از نظر مواد مغذی محدودیتی نداشت و بر اساس نیاز آفتابگردان مقدار ۴۶ کیلوگرم نیتروژن در هکتار از منبع کود اوره با استفاده از انژکتور تزریق در سه مرحله به تمامی کرت‌ها داده شد. سیستم آبیاری قطره‌ای-نواری برای مدیریت آبیاری استفاده شد. نوار آبیاری مورد استفاده ساخت شرکت یورودریپ با فاصله‌ی قطره چکان ۱۵ سانتی‌متر و دبی قطره چکان برابر ۱/۳ لیتر بر ساعت بود. برای کنترل آب دریافتی روی لوله نیمه اصلی یک کنتور حجمی ۱ اینچ و برای هر کرت شیرهای قطع و وصل کنترل جریان در نظر گرفته شد. فشار و دبی مورد نیاز توسط یک الکتروپمپ گریز از مرکز با قدرت ۱/۵ اسب بخار تأمین می‌گردید. به منظور جلوگیری از گرفتگی فیزیکی خروجی‌ها، از یک عدد فیلتر دیسکی ۲ اینچ با ظرفیت تصفیه ۲۵ متر مکعب در ساعت استفاده شد. عملیات کاشت در ۱۳ خرداد ماه انجام شد. در این طرح از دو هیبرید آفتابگردان یوروفلور (هیبرید داخلی) و سیرنا (هیبرید خارجی) متداول در الگوی کشت اصفهان استفاده شد. فاصله کاشت بذرها روی هر ردیف ۲۰ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌های کاشت از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر بود.

در طی مدت ۹۵ روز انجام پژوهش، میانگین کمینه و بیشینه دمای روزانه به ترتیب ۲۰/۴۲ و ۳۶/۳۳ درجه سانتی‌گراد بود. هم‌چنین میانگین کمینه و بیشینه رطوبت نسبی روزانه به ترتیب ۱۲/۳۲ و ۲۷/۹۷ درصد بود. برای پایش روزانه رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه از دستگاه رطوبت‌سنج (Profile probe device, PR2, Delta-T Co.) استفاده شد. در تمام پلات‌های آزمایشی غلاف مخصوص دستگاه نصب گردید و دستگاه برای شرایط مزرعه در اعماق مختلف واسنجی شد. رطوبت خاک در عمق‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰ و ۶۰ سانتی‌متری که به ترتیب معرف لایه‌های ۵-۱۵، ۱۵-۲۵، ۲۵-۳۵، ۳۵-۴۵ و ۴۵-۵۵ سانتی‌متری بود، به صورت روزانه اندازه‌گیری شد. در هر نوبت آبیاری، عمق آب آبیاری با هدف جایگزین نمودن

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مزرعه آزمایشی

عمق نمونه برداری (cm)	pH	هدایت الکتریکی (dS/m)	رس (%)	شن (%)	ظرفیت زراعی مزرعه (%)	چگالی ظاهری (Mgm ⁻³)	درصد ماده آلی (%)
۰ - ۲۰	۸/۱	۱/۱	۲۷/۹	۳۱/۹	۲۴/۳	۱/۴	۰/۹
۲۰ - ۴۰	۷/۹	۰/۸	۲۷/۶	۳۱/۹	۳۱/۰	۱/۵	۰/۹
۴۰ - ۶۰	۷/۸	۰/۸	۲۴/۷	۳۰/۹	۳۲/۷	۱/۵	۰/۴
۶۰ - ۸۰	۷/۸	۱/۰	۲۶/۳	۲۹/۶	۳۲/۲	۱/۵	۰/۳
۸۰ - ۱۰۰	۷/۷	۱/۰	۲۹/۳	۲۶/۹	۳۰/۹	۱/۵	۰/۲

داده‌های هواشناسی مورد نیاز از ایستگاه هواشناسی نجف‌آباد واقع در ۵ کیلومتری محل اجرای طرح اخذ شد. برای تعیین تبخیر- تعرق گیاه از روش موازنه آب خاک در مزرعه استفاده شد (۱۶). به منظور اعمال موازنه آب در مزرعه از رطوبت خاک در زمان‌ها و عمق‌های مختلف یا تشریح پروفیل آب خاک که به کمک آن مقدار واقعی ET_C به دست می‌آید، استفاده شد. در تشریح پروفیل آب خاک رطوبت حجمی خاک پیش و پس از آبیاری در اعماق مختلف اندازه‌گیری و با استفاده از معادله ۳ مقدار ET_C محاسبه شد.

$$ET_C = I + P - D + \int_0^Z \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) \rho_w Z \, dz \, dt \quad [3]$$

که در آن ET_C (mm/day)، I عمق آبیاری (mm)، P مقدار بارندگی (mm)، D نفوذ عمقی (mm)، ρ_w رطوبت حجمی خاک (mm³/mm³)، Z عمق لایه (mm) و t زمان بین دو اندازه‌گیری رطوبت (day) می‌باشد. به منظور حذف اثر محیطی و تغییرات شدید رطوبت در لایه‌های خاک در زمان انجام آبیاری، معادله بیلان آب خاک در بازه زمانی بین دو آبیاری بررسی شد، بنابراین در این معادله، مقدار I برابر صفر بود. "به عبارتی Δθ از کم کردن رطوبت روز پس از آبیاری (t₂) (از رطوبت روز قبل از آبیاری (t₁) بعدی (t₂) بدست آمد." مقدار P به دلیل عدم وجود بارندگی صفر و فرونشست عمقی به دلیل استفاده از سیستم آبیاری قطره‌ای ناچیز در نظر گرفته شد. داده برداری روزانه رطوبت با دستگاه

کمبود رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه تا حد ظرفیت زراعی مزرعه (FC) محاسبه و اعمال گردید (۸). زمان آبیاری بر اساس ۵۰ درصد تخلیه آب قابل دسترس خاک در عمق توسعه ریشه تعیین شد (۸). از آنجایی که دور آبیاری تابع میزان تخلیه رطوبت از نیمرخ خاک بود در طول فصل رشد یکسان نبود. درجه روز رشد (Growing degree days, GDD) با استفاده از معادله ۱ محاسبه گردید (۶):

$$GDD = \sum_{k=1}^n \left[\frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b \right] k \quad [1]$$

که در آن T_b دمای پایه گیاه آفتابگردان برای شروع فعالیت زیستی برابر ۶ درجه سانتی‌گراد (۲ و ۳)، T_{max} و T_{min} به ترتیب بیشینه و کمینه دمای روزانه و n تعداد روزهای رشد می‌باشد.

تبخیر-تعرق مرجع روزانه با استفاده از معادله فائو- پنمن-مانتیت (FPM) محاسبه گردید (۱۲):

$$ET_0 = \frac{[0.418(R_n - G) + (9.0 \times 10^{-8})(T + 273)U_2(e_a - e_d)]}{\Delta + \gamma(1 + 0.34U_2)} \quad [2]$$

که در آن ET₀ تبخیر-تعرق گیاه مرجع (mm/day)، R_n تشعشع خالص (MJ/m².day)، G شار گرمایی خاک (MJ/m².day)، T میانگین دمای هوا (°C)، U₂ سرعت باد در ارتفاع ۲ متری (m/s)، (e_a-e_d) کمبود فشار بخار (kPa)، Δ شیب منحنی فشار بخار (kPa/°C)، γ ضریب سایکرومتری (kPa/°C) می‌باشد. "می‌باشد.

PR2 از زمان شروع اعمال تیمارهای آبیاری انجام شد.

مقادیر K_c آفتابگردان برای هر دو وارته در دوره رشد، با استفاده از معادله ۴ تعیین شد (۸).

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0} \quad [4]$$

در نشریه فائو اشاره شده است که ضریب گیاهی در مرحله اولیه رشد ($K_{c \text{ ini}}$) تابع میانگین فواصل بین خیس شدن خاک، عمق آبیاری، عمق بارندگی و تبخیر-تعرق گیاه مرجع می باشد (۸). بنابراین به دلیل اینکه در مرحله اولیه رشد نقش گیاه در تبخیر-تعرق چندان موثر نیست و تبخیر نقش بیشتری دارد برای تخمین $K_{c \text{ ini}}$ از روابط و نمودارهای ارائه شده توسط فائو استفاده گردید. همچنین ضرایب گیاهی مراحل میانی و نهایی ارائه شده توسط فائو که برای اقلیم نیمه مرطوب می باشد نیز توسط روابط ارائه شده این نشریه برای شرایط آب و هوایی منطقه مورد مطالعه اصلاح گردید. لازم به ذکر است که فائو با وجود ارائه روابط اصلاحی، تاکید دارد در صورت متفاوت بودن مدیریت آبیاری و وارته گیاه، ضرایب گیاهی متفاوت خواهند بود.

علاوه بر رابطه ۲، در این پژوهش مقادیر تبخیر-تعرق گیاه مرجع با استفاده از داده های روزانه تشت تبخیر که از ایستگاه نجف آباد اخذ شد (رابطه ۵) نیز محاسبه گردید (۱۱). سپس از رابطه ۴ مقدار K_c وارته های مورد آزمایش محاسبه شد.

$$ET_{O(\text{pan base})} = E_{\text{pan}} * K_{\text{pan}} \quad [5]$$

که در این معادله $ET_{O(\text{pan base})}$ تبخیر-تعرق گیاه مرجع، E_{pan} تبخیر از تشت و K_{pan} ضریب تشت می باشند.

نتایج و بحث

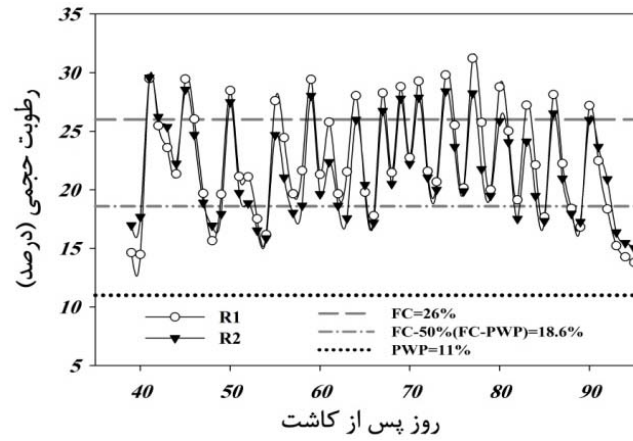
بررسی منحنی تغییرات رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه طی دوره رشد نشان داد تنش رطوبتی در پلات های آزمایشی رخ نداده است (شکل ۱). همچنین نیمرخ تغییرات رطوبت در خاک طی دوره رشد فرض ناچیز بودن فرونشست عمقی در معادله بیلان آب خاک را تایید نمود (شکل ۲).

در طول فصل رشد ۹۵ روز آفتابگردان مقدار تبخیر-تعرق

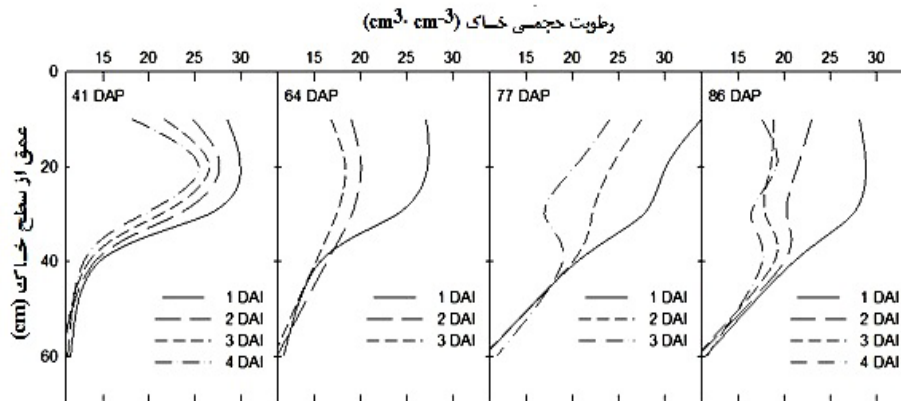
گیاه مرجع ۸۱۷ میلی متر و تبخیر از تشت ۱۰۷۹ میلی متر بود. همچنین مقدار تجمعی ET_c به روش موازنه حجمی آب خاک در مزرعه برای وارته یوروفلور در طول فصل رشد برابر ۶۰۱ میلی متر و برای وارته سیرنا برابر ۵۷۵ میلی متر به دست آمد. مقدار ET_c فصلی وارته یوروفلور ۲۶ میلی متر بیشتر از وارته سیرنا بود (شکل ۳). مقایسه تبخیر-تعرق آفتابگردان محاسبه شده بر اساس ضرایب گیاهی ارائه شده توسط فائو با مقادیر واقعی اندازه گیری شده برای دو وارته یوروفلور و سیرنا ۲ درصد اختلاف را در کل برآورد تبخیر-تعرق گیاه آفتابگردان در منطقه مورد مطالعه نشان داد. این اختلاف زمانی که از ضرایب اصلاحی فائو استفاده شد به ۵ تا ۹ درصد رسید (شکل ۳).

مقایسه تبخیر-تعرق فصلی گیاه مرجع با دو وارته آفتابگردان نشان داد که تبخیر-تعرق فصلی وارته های یوروفلور و سیرنا با تاریخ کاشت ۱۳ خرداد در اصفهان، به ترتیب ۲۶ درصد و ۳۰ درصد کمتر از ET_0 فصلی می باشد. همچنین نسبت ET_c فصلی به ET_0 فصلی برای دو وارته یوروفلور و سیرنا در این منطقه به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۷۰ محاسبه شد. استودتو و آلبریزو (۲۰) این نسبت را برای آفتابگردان در جنوب ایتالیا ۱/۳ به دست آوردند. این اختلاف ممکن است تحت تأثیر نوع سیستم آبیاری، مدیریت آبیاری، شرایط اقلیمی و نوع وارته کشت شده، ایجاد شده باشد.

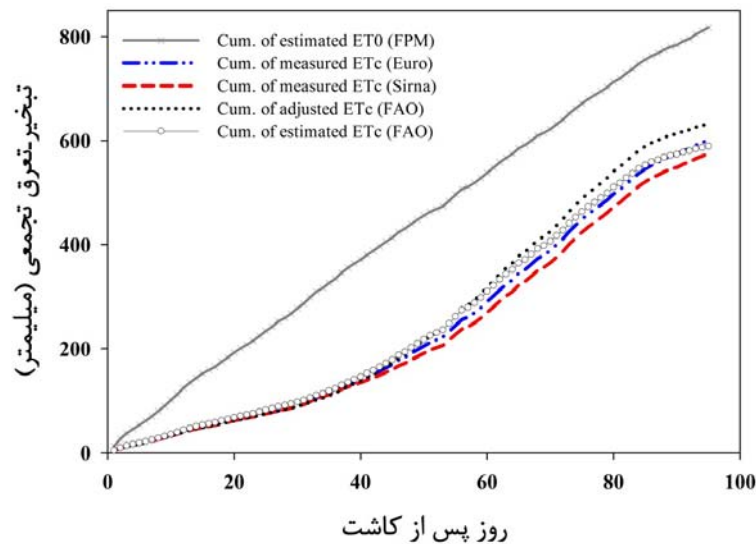
ضریب گیاهی مرحله اولیه رشد آفتابگردان با استفاده از روابط ارائه شده توسط فائو تحت تأثیر تواتر آبیاری، عمق آب آبیاری و میانگین تبخیر-تعرق گیاه مرجع ۰/۳۲ به دست آمد (۸). متوسط K_c وارته های یوروفلور و سیرنا با دوره رشد ۹۵ روزه، بر اساس بیلان آب خاک در مرحله توسعه به ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۰/۷۲، در مرحله میانی برابر ۱/۱۸ و ۱/۱۵ و در مرحله نهایی برابر ۰/۹۰ و ۰/۸۴ به دست آمد. فائو میانگین K_c آفتابگردان را در مراحل اولیه، توسعه، میانی و نهایی رشد به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۷۵، ۱/۱۵ و ۰/۷۵ گزارش کرده است که با اصلاح این ضرایب بر اساس اقلیم منطقه مورد مطالعه توسط روابط اصلاحی فائو به ترتیب ضرایب ۰/۳۲، ۰/۸۰، ۱/۲۸ و



شکل ۱. تغییرات رطوبت حجمی خاک در عمق توسعه ریشه در طی دوره رشد



شکل ۲. نیمرخ تغییرات رطوبت خاک در چهار مرحله رشد گیاه (DAP: روز پس از کاشت و DAI: روز پس از آبیاری)



شکل ۳. تبخیر-تعرق تجمعی گیاه مرجع، تبخیر-تعرق تجمعی اندازه‌گیری شده و تخمینی دو وارسته آفتابگردان طی دوره رشد

جدول ۲. مقادیر E_{Tc} و K_c اندازه‌گیری شده و مقادیر E_{T0} و K_c محاسبه شده وارته‌های یوروفلور و سیرنا آفتابگردان در طی فصل رشد

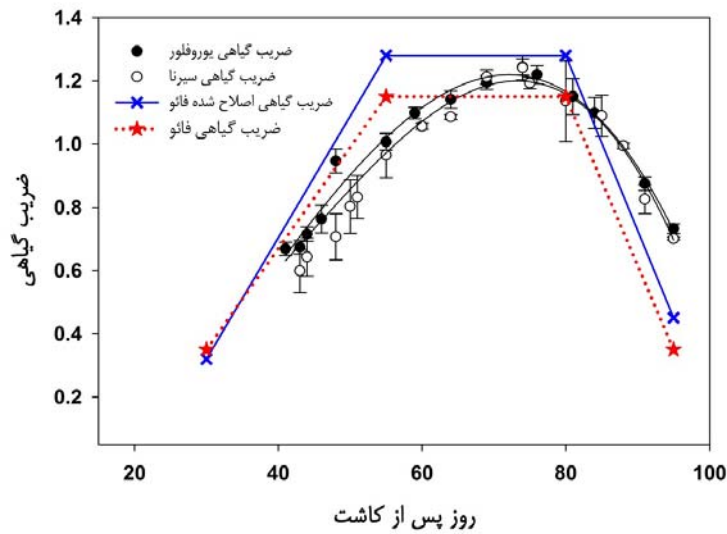
مرحله رشد	اولیه	توسعه	میانی	نهایی
طول دوره (روز)	۳۰	۲۵	۲۵	۱۵
ضریب گیاهی وارته یوروفلور	۰/۳۲	۰/۷۵	۱/۱۸	۰/۹۰
ضریب گیاهی وارته سیرنا	۰/۳۲	۰/۷۲	۱/۱۵	۰/۸۴
ضریب گیاهی FAO_{56}	۰/۳۵	۰/۷۵	۱/۱۵	۰/۷۵
ضریب گیاهی اصلاح شده FAO_{56}	۰/۳۲	۰/۸۰	۱/۲۸	۰/۸۷
تبخیر-تعرق وارته یوروفلور (mm)	۸۶	۱۴۷	۲۵۴	۱۱۵
تبخیر-تعرق وارته سیرنا (mm)	۸۶	۱۳۱	۲۴۶	۱۱۳
تبخیر-تعرق مرجع (mm)	۲۶۷	۲۱۷	۲۱۸	۱۱۴

برداشت محصول بر ضریب گیاهی در اواخر دوره رشد باشد (۸ و ۱۳). مقدار فوق برای K_c اصلاح شده فائو در مقایسه با K_c واقعی وارته سیرنا ۳ درصد بیشتر و برای وارته یوروفلور ۳ درصد کمتر بود (جدول ۲). به عبارتی ضرایب گیاهی فائو در مقایسه با ضرایب اصلاح شده فائو در مراحل توسعه و میانی به ضرایب واقعی نزدیک‌تر بودند اما در مرحله نهایی K_c اصلاح شده فائو تطابق بیشتری با مقادیر واقعی داشت. همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است استفاده از ضرایب اصلاح شده فائو برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه آفتابگردان باعث اعمال بیش آبیاری در اواسط دوره رشد و اعمال تنش آبی در اواخر دوره رشد می‌گردد. باتوجه به نتایج فوق، استفاده از K_c توصیه شده توسط فائو برای سیستم‌های آبیاری با دور آبیاری زیاد (آبیاری سطحی و بارانی) ممکن است دقت لازم را داشته باشد. اما برای مدیریت سیستم‌های آبیاری قطره‌ای با دور آبیاری کوتاه و سیستم‌های آبیاری اتوماتیک از دقت کافی برخوردار نمی‌باشد. بنابراین استخراج ضرایب گیاهی روزانه با توجه به اقلیم منطقه، وارته گیاهی و سیستم آبیاری برای اعمال مدیریت دقیق آبیاری و افزایش کارایی مصرف آب ضروری است.

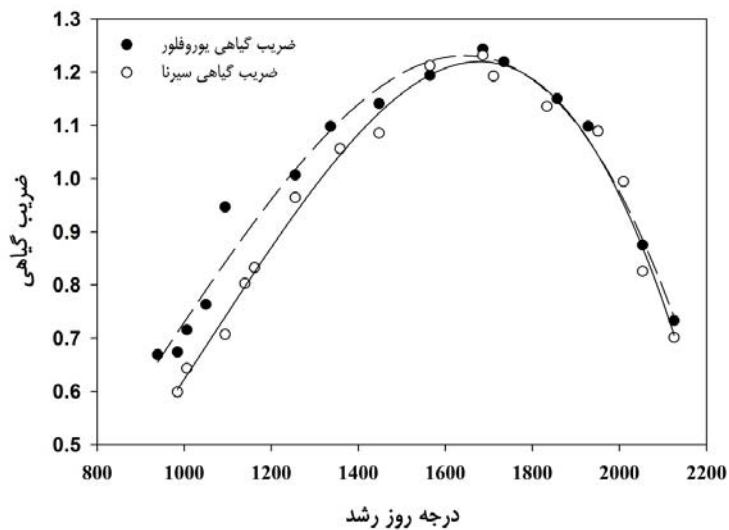
ارائه ضریب گیاهی به صورت تابعی از روز پس از کاشت (DAP) و درجه روز رشد (GDD) موجب مدیریت دقیق‌تر

۰/۸۷ حاصل شد (جدول ۲). تیاگی و همکاران (۲۲) مقدار K_c مراحل مختلف رشد آفتابگردان (وارته varun با دوره رشد ۱۰۵ روز) را برای مناطق نیمه خشک کارنال هند در سیستم آبیاری غرقابی برابر ۰/۵۲، ۱/۱، ۱/۳۲ و ۰/۴۱ گزارش کردند. در این پژوهش اختلاف بیشینه K_c روزانه اندازه‌گیری شده وارته یوروفلور (۱/۲۴) با مقدار توصیه شده فائو (۱/۱۵) برابر ۸ درصد و با ضریب اصلاح شده (۱/۲۸) برابر ۳ درصد بود. این اختلاف برای وارته سیرنا (۱/۲۳) برابر ۷ و ۴ درصد بود (شکل ۴).

متوسط ضریب گیاهی اندازه‌گیری شده (واقعی) در مرحله توسعه برای وارته‌های یوروفلور و سیرنا با K_c ارائه شده توسط فائو تطابق نسبی داشت اما K_c اصلاح شده فائو ۶ تا ۱۰ درصد بیشتر از K_c واقعی بود (۸). همچنین متوسط K_c آفتابگردان در مرحله میانی رشد برای وارته‌های یوروفلور و سیرنا به ترتیب ۱/۱۸ و ۱/۱۵ به دست آمد که با K_c ارائه شده توسط فائو تطابق نسبی داشت اما K_c اصلاح شده فائو ۸ تا ۱۰ درصد بیشتر از K_c واقعی بود (۸). از طرفی متوسط K_c ارائه شده توسط فائو برای اواخر دوره رشد از مقدار واقعی برای وارته یوروفلور ۲۰ درصد و برای وارته سیرنا ۱۲ درصد کمتر بود. این اختلاف می‌تواند ناشی از تأثیر مدیریت آبیاری و زمان



شکل ۴. تغییرات روزانه ضریب گیاهی واریته‌های یوروفلور و سیرنا آفتابگردان در طی دوره رشد



شکل ۵. تغییرات ضریب گیاهی واریته‌های یوروفلور و سیرنا نسبت به درجه روز رشد (GDD)

داشتند (۵ و ۱۴). در این تحقیق پس از برآزش معادله درجه سوم بر مقادیر ضریب گیاهی نسبت به DAP و GDD، معادله‌های ۶ و ۷ به دست آمدند که ضرایب این معادله‌ها برای واریته‌های یوروفلور و سیرنا در جدول ۳ ذکر شده است.

$$Kc = a \times DAP^3 + b \times DAP^2 + c \times DAP + d \quad [6]$$

$$Kc = a \times GDD^3 + b \times GDD^2 + c \times GDD + d \quad [7]$$

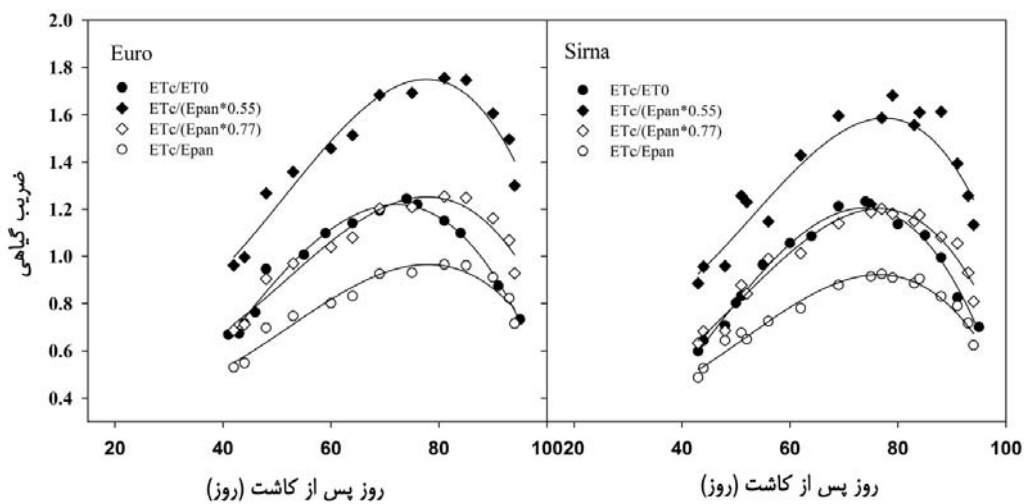
که در این معادلات DAP روزهای پس از کاشت، GDD درجه

آبیاری برای تاریخ‌های کاشت متفاوت در سال‌های مختلف برای منطقه مورد مطالعه می‌شود (۱۷ و ۲۳). به منظور کاهش تأثیر تغییرات اقلیمی و تاریخ کاشت بر مقدار Kc ، ضریب گیاهی به صورت تابعی از DAP و GDD ارائه شد (شکل‌های ۴ و ۵).

در تحقیقات اخیر معادله‌های درجه سوم بهترین برآزش را با روند تغییرات Kc با روزهای پس از کاشت و درجه روز رشد

جدول ۳. ضرایب معادله‌های Kc آفتابگردان به صورت تابعی از DAP و GDD

متغیر	$a \cdot 10^{-6}$	$b \cdot 10^{-4}$	c	d	R ²	P
DAP (Euro)	-۶/۴۴۰۳	۶/۰۰۸۹	۰/۰۱۳۷	-۰/۴۸۲۱	۰/۹۷	<۰/۰۰۱
DAP (Sirna)	-۹/۷۳۸۲	۱۲/۰۶۵	-۰/۰۱۹۲	-۰/۰۳۵۶	۰/۹۸	<۰/۰۰۱
GDD (Euro)	-۰/۰۰۰۰۸	۰/۰۲۲۸	-۰/۰۰۰۰۹	۰/۱۶۳۳	۰/۹۷	<۰/۰۰۱
GDD (Sirna)	-۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۳۶۶	-۰/۰۰۰۲۷	۰/۷۷۳۶	۰/۹۸	<۰/۰۰۱



شکل ۶. تغییرات تبخیر- تعرق گیاه نسبت به تبخیر از تشت برای واریته یوروفلور و سیرنا در طی دوره رشد

”با توجه به شکل ۶، نسبت $\frac{ET_c}{E_{pan}}$ در طول دوره رشد همواره کمتر از Kc شد.“ با توجه به وضعیت پوشش گیاهی اطراف تشت، متوسط سرعت باد روزانه و متوسط رطوبت نسبی در طول دوره طرح، طبق جدول دورنبوس و پروت (۱۱) مقدار $\frac{ET_c}{E_{pan}}$ برای ضریب تشت در این منطقه تعیین شد. متوسط $\frac{ET_c}{E_{pan}}$ در طول فصل رشد آفتابگردان در این منطقه ۰/۷۷ به دست آمد که از مقدار Kpan ارائه شده توسط دورنبوس و پروت (۰/۵۵) بیشتر بود. طبق تعریف فائو، ضریب تشت به دست آمده از جدول دورنبوس و پروت برای تخمین تبخیر-تعرق گیاه مرجع در شرایطی کاربرد دارد که گیاه در یک سطح وسیع (حدافل چند ۱۰ هکتار) کشت شده باشد. در صورتی که در این تحقیق اگرچه سطح در مقیاس تحقیقاتی وسیع بوده است، اما در مقیاس زراعی کوچک محسوب می‌شود. از طرفی ایستگاه

روز رشد و Kc ضریب گیاهی آفتابگردان می‌باشد. پس از ارزیابی معادله‌های فوق می‌توان آنها را در برنامه‌های کامپیوتری برآورد نیاز آبی آفتابگردان به منظور محاسبه ETc روزانه آفتابگردان استفاده کرد.

برآورد ET₀ به کمک معادله FPM یکی از دقیق‌ترین روش‌های تخمین تبخیر-تعرق می‌باشد (۱۳). اما داده‌های هواشناسی مورد نیاز در این روش همیشه در دسترس نیست. بنابراین در مناطقی که ایستگاه هواشناسی وجود ندارد می‌توان از داده‌های تشت تبخیر جهت اعمال مدیریت آبیاری استفاده نمود که روشی آسان و ارزان می‌باشد (۱۹). با استفاده از مقادیر تبخیر از تشت کلاس A واقع در ایستگاه هواشناسی نجف آباد، نسبت ETc به ET₀ (pan-base) برای هر دو واریته آفتابگردان به دست آمد (شکل ۶).

ضروری است. تبخیر-تعرق فصلی گیاه تحت تأثیر وارسته آفتابگردان بود به طوری که ۲۶ میلی متر اختلاف در نیاز فصلی دو وارسته مشاهده شد. اما مقدار بیشینه ضرایب گیاهی وارسته‌های یوروفلور و سیرنا همزمان اتفاق افتاد. ضرایب گیاهی فائو در مقایسه با ضرایب اصلاح شده فائو در مراحل توسعه و میانی به ضرایب اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر بودند اما در مرحله نهایی ضریب گیاهی اصلاح شده فائو تطابق بیشتری با مقادیر اندازه‌گیری شده داشت. استفاده از ضرایب اصلاح شده فائو برای برآورد تبخیر-تعرق گیاه آفتابگردان باعث اعمال بیش آبیاری در اواسط دوره رشد و اعمال تنش آبی در اواخر دوره رشد می‌گردد. متوسط در طول فصل رشد آفتابگردان در این منطقه ۰/۷۷ به دست آمد که از مقدار K_{Pan} ارائه شده توسط دورنبوس و پروت (۰/۵۵) بیشتر بود. در سیستم آبیاری موضعی مدیریت روزانه آبیاری به سهولت امکان‌پذیر است بنابراین با در دست داشتن ضرایب گیاهی روزانه به صورت تابعی از روز پس از کاشت و مقدار انرژی دریافتی، می‌توان نیاز آبی گیاه را با دقت بالا برآورد نمود و کارایی مصرف آب را افزایش داد. از طرفی استخراج این ضرایب در توسعه مدل‌های گیاهی به منظور مدیریت دقیق آبیاری مفید خواهد بود. توصیه می‌شود برای گیاهان غالب منطقه مقدار ضریب گیاهی به صورت تابعی از روز پس از کاشت و مقدار انرژی دریافتی جهت افزایش بهره‌وری از منابع آب توسعه داده شوند.

هواشناسی نجف‌آباد غیر مرجع است و این مسئله باعث متفاوت شدن شرایط فوق با شرایط ارائه شده توسط دورنبوس و پروت می‌گردد. به همین دلیل K_{Pan} استخراج شده توسط دورنبوس و پروت در این تحقیق با مقدار اندازه‌گیری شده مطابقت ندارد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت زمانی جداول دورنبوس و پروت برای تخمین مقدار K_{Pan} قابل استفاده هستند که نتایج برای تخمین تبخیر-تعرق در یک سطح وسیع کشت به کار برده شوند و شرایط ایستگاه مطابق شرایط ارائه شده توسط دورنبوس و پروت باشد.

مقایسه نمودار K_C (FPM-base) اندازه‌گیری شده با K_C (pan-base) نشان می‌دهد که با اعمال ضریب ۰/۷۷ مقدار دو ضریب گیاهی مذکور در ابتدای دوره رشد تطابق دارند اما از روز ۵۰ام پس از کاشت، مقدار K_C (pan-base) بیشتر از K_C (FPM-base) شده است. اگرچه ضریب تشت استخراج شده در این تحقیق موجب شده مقدار K_C (pan-base) با مقدار K_C (FPM-base) مطابقت نسبی داشته باشد، نکته قابل تأمل در مورد استفاده از داده‌های تشت تعیین دقیق ضریب تشت می‌باشد. از طرفی تعیین تنها یک ضریب تشت بگونه‌ای که در کل طول فصل رشد کاربرد داشته باشد امکان‌پذیر نیست.

نتیجه‌گیری

به منظور اعمال مدیریت صحیح و دقیق آبیاری، به دست آوردن ضرایب گیاهی روزانه با توجه به اقلیم منطقه و تاریخ کاشت

منابع مورد استفاده

۱. برومندنسب، س.، ح. ع. کشکولی و م. ر. خالدیان. ۱۳۸۵. تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی نیشکر در اراضی کشت و صنعت هفت تپه خوزستان. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲. خواجه پور، م. ر. و ف. سیدی. ۱۳۸۰. اثر دما و طول روز بر مراحل نمو ارقام آفتابگردان در شرایط مزرعه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (۲): ۹۱-۱۰۷.
۳. خوشحال دستجردی، ح. ط. یساری و ح. نوری. ۱۳۸۸. بررسی نیازهای حرارتی مراحل مختلف نمو آفتابگردان در کبوتر آباد اصفهان. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی ۳۶: ۱-۱۶.

۴. شهابی فر، م. و م. ح. رحیمیان. ۱۳۸۶. تعیین نیاز آبی چغندر به روش لایسیمتری در مشهد. مجله چغندر قند ۲۳(۲): ۱۸۴-۱۷۷.
۵. قیصری، م. م. میرلطیفی، م. همایی و م. اسدی. ۱۳۸۵. تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضریب گیاهی آن در مراحل مختلف رشد. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. ۲۶(۷): ۱۲۵-۱۴۲.
۶. کوچکی، ا. و م. نصیری. ۱۳۷۱. اکولوژی کشاورزی. انتشارات جهاد دانشگاهی، مشهد.
۷. یارنیا، م. م. صفایی، ب. خورشیدی و ا. فرج زاده معماری. ۱۳۸۸. اثر تنش خشکی و سولفات پتاسیم بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان رقم ایروفلور. یافته‌های نوین کشاورزی ۳: ۳۱۷-۳۳۳.
8. Allen, R. G., L. S. Pereira, D. Raes and M. Smith. 1998. Crop evapotranspiration-guidelines for computing crop water requirements, Irrigation and drainage paper 56, Rome, Italy. 300 p.
9. Ashraf, M. and M. Abdul Majeed. 2006. Water requirements of major crops for different agro-climatic zones of Balochistan, Pakistan. International Union for Conservation of Nature and Natural Resources. The World Conservation Union (IUCN), Water Programme Pakistan.
10. Cakir, R. 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. Field Crop Res. 89: 1-16.
11. Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1977. Guideline for predicting crop water requirements. FAO Irrigation. Report, Central Soil and Water Conservation Research Institute, Dehar Dun, pp. 100.
12. Farg, E., M. S. Abd El-Wahed and A. M. EL-Gindy. 2012. Estimation of Evapotranspiration ETc and Crop Coefficient Kc of Wheat, in south Nile Delta of Egypt Using integrated FAO-56 approach and remote sensing data. Egypt. J. Remote Sensing Space Sci.
13. Ko, J., G. Piccinni, T. Marek and T. Howell. 2009. Determination of growth stage-specific crop coefficients (Kc) of cotton and wheat, Agricultural Water Management, 96, 1691-1697.
14. Majnooni-Heris, A., A. A. Sadraddini, A. H. Nazemi, M. R. Shakiba, M. R. Neyshaburi and I. H. Tuzel. 2012. Determination of single and dual crop coefficients and ratio of transpiration to evapotranspiration for canola. Ann. Biol. Res. 3(4):1885-1894.
15. Mawgoud, A. S. A., M. A. Gameh, S. H. Elaziz and M. M. El-Sayed. 2009. Sunflower water relation at various irrigation regimes with modern irrigation systems under climatic conditions of Assiut governorate, upper Egypt. Thirteenth international Water Technology Conference, IWTC.
16. Prinars S. S. and B. S. Sandhu. 1987. Irrigation of field crops (principles and practices). Ind. Council of Agric. Res. New Delhi 1: 3-31.
17. Sammis, T. W., C. L. Mapel, D. G. Lugg, R. R. Landstord and J. T. McGukin. 1985. Evapotranspiration crop coefficients predicted using growing degree-days. Trans. ASSE. 28:773-780.
18. Smith, M., R. Allen, J. L. Monteith, A. Perrier, L. Pereira and A. Sageren. 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.
19. Stanhill, G. 2002. Is the class a evaporation pan still the most practical and accurate meteorological method for determining irrigation water requirements? Agric. and Forest Meteorol. 112: 233-236.
20. Steduto, P. and R. Albrizio. 2005. Resource use efficiency of field-grown sunflower, sorghum, wheat and chickpea. II. Water use efficiency and comparison with radiation use efficiency. Agric. and Forest Meteorol. 130: 269-281.
21. Thornthwaite, C.W. 1948. An approach to a rational classification of climate. Geog. Rev. 38: 55-94.
22. Tyagi, N. K., Shamara, D. K. and S. K. Luthra. 2000. Determination of evapotranspiration and crop coefficients of rice and sunflower with lysimeter. Agric. Water Manage. 45:41-54.
23. Wright, J. L. 1982. New evapotranspiration crop coefficient. J. Irrig. Drain. ASCE. 108: 57-74.
24. Yazar, A., S. Sezen and B. Gencel. 2002. Drip irrigation of corn in southeast Anatolia Project (GAP) area in Turkey. Irrig. Drain. 51: 293-300.