

تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی منفرد و دوگانه سیر در اقلیم نیمه خشک سرد

حمید زارع ایبانه^{۱*}، عادل قاسمی^۲، صفر معروفی^۱ و مریم بیات ورکشی^۲

تاریخ دریافت: ۸۸/۷/۱۱ تاریخ پذیرش: ۸۹/۲/۳۰

۱- استادیار و دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا

۲- دانشجویان کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا

* مسئول مکاتبه E-mail: zare_h2000@yahoo.com

چکیده

این پژوهش به منظور تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی سیر در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینای همدان در سال 1387 انجام گرفت. بر اساس نتایج آزمایش، محدوده تغییرات تبخیر و تعرق گیاه سیر (ET_c) در طول فصل رشد بین 0/1 تا 11/22 میلی متر در روز به وسیله لایسیمتر زهکش دار اندازه گیری شد. نیاز آبی سیر طی فصل رشد در شرایط فراهمی کامل آب، معادل 546/5 میلی متر و کارآیی مصرف آب (WUE) 2/85 گرم به ازای هر کیلوگرم تبخیر تعرق تعیین گردید. مقدار ضریب گیاهی واقعی در مرحله ابتدایی رشد 0/5، در انتهای مرحله توسعه به 1/4 رسیده و در مرحله پایانی به 0/3 کاهش یافت. در این تحقیق همچنین بر اساس روابط پیشنهادی در نشریه فائو 56 ضرایب گیاهی منفرد و دوگانه گیاه سیر نیز تعیین شد. به منظور برآورد تبخیر و تعرق سیر از پارامترهای هواشناسی، مدل رگرسیونی چند متغیره ارائه گردید. نتایج نشان داد ET_c برآوردی با اعمال ضریب گیاهی دوگانه اختلاف کمتری با مقدار تبخیر و تعرق لایسیمتری گیاه سیر داشت (RMSE=2/46 mmd⁻¹) اما ضریب گیاهی منفرد از نظر سهولت و حجم محاسباتی نسبت به ضریب دوگانه بسیار ساده تر بود.

واژه های کلیدی: تبخیر تعرق گیاه سیر، ضریب گیاهی منفرد، ضریب گیاهی دوگانه، مدل رگرسیونی

Determination of Water Requirement, Single and Dual Crop Coefficients of Garlic in Cold Semi-Arid Climate

H Zare Abyaneh^{1*}, A Gasemi², S Marofi¹ and M Bayat Varkeshi²

Received: 11 July 2009

Accepted: 30 February 2010

¹Assist. and Assoc. Prof. Dept. of Water Engin., Agricultural Faculty University of Bu-Ali Sina, Iran

²MSc Students, Dept. of Water Engin., University of Bu-Ali Sina, Iran

*Corresponding author: E-mail: zare_h2000@yahoo.com

Abstract

This study was carried out to determine water requirement and crop coefficients of garlic (*Allium sativum* L.) at the climatic station of the Agricultural Faculty of Bu-AliSina University, Hamedan. Daily crop evapotranspiration (ET_C) during growing season varied from 0.1 to 11.22 mmd^{-1} . Garlic water requirement during growing season under full water availability was 546.5 mm with a water use efficiency of 2.85 g/kg of evapotranspiration. Crop coefficients at initial, developing, and final growth stages were 0.5, 1.4 and 0.3, respectively. Based on the models recommended by FAO56, single and dual crop coefficients were also determined. In order to predict garlic evapotranspiration from the climatic data, multiple regression models were applied. Results showed that predicted ET_C by employing dual crop coefficients produced smaller difference comparing to the lysimeter measured ET_C ($\text{RMSE}=2.46 \text{ mmd}^{-1}$). Considering ET_C computation procedures and time required, single crop coefficient was much simpler than dual crop coefficient.

Keywords: Dual crop coefficients, Garlic evapotranspiration, Single crop coefficients, Regression model

روابط و اطلاعات مورد نیاز ضریب گیاهی دوگانه را به تفصیل تشریح و آن را برای گیاه یونجه بکار گرفت. آلن (2000) ضریب گیاهی منفرد را در عمل ساده تر داشت و سلیمان و همکاران (2007) برآوردهای حاصل از ضریب منفرد را برای گیاه پنبه در مناطق مرطوب معقول دانستند. با افزایش درصد پوشش گیاهی در فصل رشد، ضریب گیاهی روندی افزایشی دارد و بعد از استقرار کامل، در صورت کفایت آب، تا زمان شروع کاهش سطح برگ، K_C تقریباً ثابت می ماند (آلن و همکاران 1998). ضریب گیاهی تعدادی از محصولات توسط آلن و همکاران (1998) پیشنهاد شده است که به اعتقاد قیصری

مقدمه

شناخت رفتار و خصوصیات پوشش گیاهی غیرمرجع در مقایسه با پوشش گیاهی مرجع (چمن)، اولین قدم در شناخت تبخیر و تعرق (ET_C) است. ضریب گیاهی (K_C) بیان کننده اثرات پوشش گیاهی و رطوبت خاک گیاه غیرمرجع نسبت به گیاه مرجع است (دورنباس و پروت 1977). ضریب گیاهی (K_C) می تواند در قالب ضریبی منفرد، متأثر از اثرات توأم تبخیر از خاک و تعرق از پوشش گیاهی و یا دو ضریب شامل ضریب گیاهی پایه (K_{Cb}) برای تعرق و ضریب تبخیر از خاک (K_e) در نظر گرفته شود (ریچارد و همکاران 2005). رایت (1982)

سیر (*Allium sativum* L.) از جمله گیاهان زراعی با روند رشد خوب در مناطق با آب و هوای خنک است که سطح زیر کشت آن در دنیا 980000 هکتار و در ایران 4900 هکتار اعلام شده است (فابیرو و همکاران، 2003، زاهدی و همکاران، 1385). اولین اطلاعات از ضریب گیاهی سیر در دوره حداکثر رشد، توسط آلن و همکاران (1998) معادل واحد ذکر شده است و فابیرو و همکاران (2003) هم مقدار K_C سیر را در مرحله رشد و توسعه آن برابر یک گزارش نموده‌اند. مقادیر فوق کمتر از مقادیر گزارش شده توسط ریزالی و همکاران (2002) می‌باشند. ضمن آن‌که ویلاوباس و همکاران (2004) در اسپانیا حداکثر مقدار K_C سیر را بین 1/3-1/2 و نیاز آبی آن را 470 میلی‌متر دانسته‌اند. آیارز (2007) حداکثر K_C گیاه سیر را در محدوده 1/4-1/3 گزارش و هانسون و همکاران (2003) سیر را گیاهی حساس به کم آبی دانستند. ضمن آن‌که فابیرو و همکاران (2003) آخرین مرحله از رشد محصول سیر (رسیدن محصول) و مرحله میانی را نسبت به کم آبی حساس دانسته و کم آبیاری در این دو مرحله را به واسطه تأثیرات منفی بر کیفیت و کمیت محصول صحیح ندانستند.

با توجه به این که در منابع مختلف مقادیر متفاوتی برای ضریب گیاهی سیر گزارش شده و علی‌رغم سابقه دیرینه کشت و کار، مصرف بالای آن در ایران و توان تولید فرآورده‌های مختلف سیر، هنوز مطالعات خاصی در خصوص ضریب گیاهی سیر در شرایط اقلیمی نیمه خشک سرد انجام نشده است. این آزمایش با هدف تعیین ضریب گیاهی منفرد و دوگانه سیر در شرایط محیطی همدان به عنوان یکی از مراکز مهم کشت و کار این محصول و بررسی الگوی تغییرات آن در طی فصل رشد، با استفاده از روش بیلان آبی در لایسیمتری و اجرا گردید. بنابراین هدف این مقاله عبارتست از: 1) تعیین نیاز آبی گیاه سیر در لایسیمتر (2) تعیین ضریب گیاهی واقعی براساس مقادیر تبخیر-تعرق لایسیمتری گیاه سیر و گیاه مرجع چمن، 3) تعیین ضریب گیاهی

و همکاران (1385) از ضرایب فوق در همه شرایط آب و هوایی به دلیل نبود داده‌های منطقه‌ای، استفاده می‌شود. در عین حال آلن و همکاران (2005) یکسان نبودن ویژگی‌های گیاهی و خصوصیات اقلیمی را موجب عدم قطعیت در ضریب گیاهی و تبخیر و تعرق ناشی از آن در نواحی مختلف جهان می‌دانند. اگر چه در برآورد نیاز آبی گیاهان از ضرایب پیشنهادی استفاده می‌شود، لیکن شواهدی دال بر تفاوت در ضرایب گیاهی از نظر مقدار و روش محاسبه در محصولات مختلف گزارش شده است (قیصری و همکاران 1385). لاولی و همکاران (2005) با اندازه‌گیری تبخیر و تعرق گیاه خربزه در کشت پلاستیکی و مقایسه با مقادیر K_C گزارش شده در نشریه فائو 56، نشان دادند که مقادیر K_C اندازه‌گیری شده از مقادیر فائو 56 کمتر است. پروت و اشنایدر در سال 1985 حداکثر ضریب گیاهی گوجه فرنگی را 1/19 و اشنایدر و همکاران در سال 1987 معادل 1/12-1/16 و فن و همکاران (1985) براساس مقادیر لایسیمتری ضریب گیاهی گوجه فرنگی را 1/05 گزارش نمود. در حالی که آلن و همکاران (1998) بدون ذکر منبعی، ضریب منفرد برای گیاه گوجه فرنگی را 1/15 و ضریب K_{Cb} را 1/10 توصیه نمودند. لوپز-اوریا و همکاران (2009) نیاز آبی گیاه پیاز را با اعمال دو ضریب گیاهی منفرد و دوگانه بر تبخیر و تعرق گیاه مرجع به روش پنمن مانیتث فائو 56 محاسبه نمودند. نتایج آنان نشان داد که نیاز آبی در هر دو حالت به‌ویژه در حالت K_C دوگانه، از مقدار واقعی کمتر بوده که با اصلاح K_C دوگانه قابل بهبود است. بودنر و همکاران (2007) با ارزیابی ضریب گیاهی دوگانه گیاهان چاودار، خردل و ماشک در مقایسه با نتایج واقعی (اندازه‌گیری شده) نشان دادند روش ضریب گیاهی دوگانه برای مناطق خشک نتایج معقولی ارائه می‌دهد. بنلی و همکاران (2006) K_{Cb} یونجه را براساس ارزیابی‌های تبخیر و تعرق لایسیمتری برای مراحل رشد اولیه، میانی و پایانی، به ترتیب 0/71، 1/78 و 1/51 برآورد نمودند.

متری بیش از 20 میلی‌گرم در کیلوگرم خاک بود که به دلیل کفایت آن کود فسفر مصرف نشد. سیر مورد کاشت از رقم توده همدانی بود که پس از حبه شدن و کنترل صحت و سلامت ظاهری، در نیمه دوم آبان 1386 در ردیف‌هایی به فاصله 20 سانتی‌متر و فاصله 10 سانتی‌متر در هر ردیف، در عمق 10 سانتی‌متر به صورت دستی کاشت شدند. برای کنترل علف‌های هرز در طی فصل رشد به دفعات لازم وجین دستی انجام گرفت. عملیات آبیاری پس از جوانه‌زنی و استقرار بوته‌ها در اول فروردین ماه 1387 براساس تامین روزانه آب مورد نیاز به وسیله قرائت مقاومت الکتریکی بلوک‌های گچی نصب شده در خاک با تخلیه مجاز 50 درصد آب قابل دسترس خاک، تنظیم گردید. زه‌آب خروجی از طریق لایسیمترها نیز روزانه به صورت حجم‌سنجی از طریق استوانه مدرج تعیین شد. اندازه‌گیری‌ها براساس معادله بیلان آب، برای هر یک از لایسیمترها انجام گرفت (قاسمی 1387).

تبخیر و تعرق گیاه مرجع چمن نیز از طریق سنجش-های لایسیمتری در طی سالیان قبل (1376-1377) تعیین و با استفاده از این اطلاعات و مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی تبخیر و تعرق مرجع در طول دوره رشد سیر پیش‌بینی گردید. صحت برآوردهای شبکه‌های عصبی مصنوعی در منطقه همدان در مطالعات قاسمی و همکاران (1386) و قاسمی (1387) گزارش شده است.

معیارهای ارزیابی شامل ضریب تبیین $(R^2)^1$ ، جذر میانگین مربع خطا $(RMSE)^2$ و میانگین خطای مطلق $(MAE)^3$ بودند که برای برآورد تبخیر تعرق گیاه مرجع چمن در مقایسه با مقادیر لایسیمتری به ترتیب معادل 0/87، 0/07، 0/06 میلی‌متر در روز و 0/06 میلی‌متر در روز به دست آمد (قاسمی 1387). بدین ترتیب ضریب گیاهی سیر براساس رابطه 1 از سنجش‌های روزانه لایسیمتری محاسبه گشت.

منفرد و دوگانه، 4) ارائه مدل رگرسیونی ساده به منظور برآورد تبخیر و تعرق سیر از پارامترهای هواشناسی.

مواد و روش‌ها

ضریب گیاهی (K_C) متمایز کننده اثر مشخصه‌های یک پوشش غیرمرجع (گیاه اصلی) است که با اعمال آن در تبخیر و تعرق گیاه مرجع (ET_0)، تبخیر و تعرق گیاه اصلی (ET_C) بدست می‌آید. در نتیجه گیاهان مختلف، ضرایب گیاهی متفاوتی دارند. به دلیل مشکلات موجود در تعیین تبخیر و تعرق گیاهی از روش بیلان آبی خاک، استفاده از روش‌های مبتنی بر ضریب گیاهی گسترده است. چرا که پارامتر نفوذ عمقی از ناحیه توسعه ریشه‌ها یکی از پارامترهایی است که اندازه‌گیری یا برآورد آن مشکل و باعث ایجاد عدم قطعیت در محاسبات تبخیر و تعرق گیاهی می‌گردد (آلن و همکاران، 2005). کیفیت پایین داده‌های هواشناسی در برآورد ET_0 و یکسان نبودن ویژگی‌های گیاه و خصوصیات منطقه رشد در نواحی مختلف جهان نیز منجر به عدم قطعیت در پیش‌بینی ET_C در روش‌های مبتنی بر ضریب گیاهی شده است (آلن و همکاران 2005).

منطقه مورد مطالعه

این آزمایش در سال 1386-1387 در ایستگاه هواشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا در جنوب غرب همدان ($34^{\circ} 48'$ شمالی و $48^{\circ} 28'$ شرقی) در ارتفاع 1820 متر از سطح دریا در 4 دستگاه لایسیمتر زهکش‌دار اجرا شد. ابعاد هر یک از لایسیمترها $2 \times 2 \times 2$ متر و بافت خاک درون آن‌ها رسی شنی، لومی رسی و لومی رسی شنی بود که در سال‌های قبل از کشت سیر، آیش بودند. شرایط آب و مواد غذایی به طور مطلوب و یکسان برای لایسیمترها فراهم شد. برای رشد بهتر بوته‌های سیر 37/5 تن در هکتار کود دامی پوسیده روی سطح لایسیمترها پخش و با ادوات ساده زراعی با خاک مخلوط گشت. موجودی فسفر خاک تا عمق 30 سانتی-

¹Coefficient of determination

²Root mean square error

³Mean absolute error

برای محاسبه ضریب کاهش تبخیر حداکثر

مقدار آبی که می‌تواند تخلیه شود (TEW^1)، محاسبه شد.

$$TEW=1000(\theta_{FC}-0.5\theta_{pwp}) Z_e \quad [7]$$

$$REW=P.TEW \quad [8]$$

REW^2 آب قابل دسترس برای تبخیر (mm)، TEW کل آب قابل تبخیر (mm)، P حد مجاز تخلیه رطوبت، θ_{FC} رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی (m^3/m^3)، θ_{pwp} رطوبت در حد پژمردگی دائم (m^3/m^3)، Z_e عمق لایه سطحی خاک که در اثر تبخیر خشک می‌شود ($0/1$ متر).

زمانی که سطح خاک به طور مشهود خشک شود، دومین مرحله تبخیر از خاک آغاز می‌گردد. در این مرحله عمق جمع‌ی تخلیه رطوبت (D_e) از میزان آب قابل دسترس برای تبخیر (REW) بیشتر می‌شود. بنابراین به طور خلاصه می‌توان شرایط زیر را اعمال نمود:

$$K_r = (TEW - D_{e,i-1}) / (TEW - REW) = (TEW - D_{e,i-1}) / (TEW(1-p)) \quad [10]$$

$$D_{e,i-1} < TEW < REW \quad \text{اگر}$$

$$K_r = 0 \quad D_{e,i-1} \geq TEW \quad \text{اگر} \quad [11]$$

به منظور تخمین K_e ، ابتدا لازم است عمق جمع‌ی تبخیر به صورت روزانه محاسبه شود. بدین منظور معادله توازن روزانه آب خاک را برای کسری از خاک که مرطوب بوده و تبخیر از آن صورت می‌گیرد (f_{ew}) به صورت ذیل در نظر گرفته شد.

$$D_{e,i} = D_{e,i-1} - (P_i - RO_i) - (I_i / f_w) + (E_i / f_{ew}) + T_{ew,i} + DP_{e,i} \quad [12]$$

$D_{e,i}$ عمق جمع‌ی تخلیه رطوبتی در انتهای روز i ام (mm)، $D_{e,i-1}$ عمق جمع‌ی تخلیه رطوبتی در انتهای روز $(i-1)$ ام (mm)، P_i بارندگی در روز i ام (mm)، RO_i رواناب ناشی از بارندگی در لایه سطحی خاک در روز i ام (mm)، I_i عمق آبیاری در روز i ام (mm)، E_i تبخیر در روز i ام (mm)، $T_{ew,i}$ عمق تعرق از خاک مرطوب و بدون پوشش لایه سطحی خاک در روز i ام (mm)، $DP_{e,i}$ نفوذ عمقی از لایه بالایی خاک در روز i ام (mm)، f_w کسر خاک خیس شده با آبیاری، $D_{e,i-1}$ عمق جمع‌ی

$$\frac{ET_C}{ET_0} = K_C \quad [1]$$

از طرف دیگر ضریب گیاهی منفرد به روش نشریه فائو برای منطقه مورد مطالعه از رابطه زیر محاسبه شد:

$$K_C(\text{table}) + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] [h/3]^{0.3} \quad [2]$$

که در آن $K_C(\text{table})$ ضریب گیاهی منفرد از جدول نشریه فائو 56، U_2 سرعت متوسط باد در ارتفاع دو متری در طول دوره پایانی رشد (m/s)، RH_{min} میانگین رطوبت نسبی در طول دوره پایانی رشد (%) و h ارتفاع متوسط گیاه (m) است.

در حالت ضریب گیاهی دوگانه، اثرات تعرق گیاه و تبخیر خاک به صورت ضرایب مجزایی تفکیک شده‌اند. لذا ضریب گیاهی منفرد در قالب ضریب دوتایی (رابطه 3) جایگزین شده است.

$$K_C = K_{Cb} + K_e \quad [3]$$

K_{Cb} : ضریب گیاهی پایه، K_e : ضریب مربوط به

تبخیر از سطح خاک

ضریب گیاهی پایه نیز مشابه ضریب گیاهی منفرد به توصیه نشریه فائو 56 از رابطه 4 و ضریب تبخیر از سطح خاک از رابطه 5 قابل محاسبه می‌باشد (علیزاده و کمالی، 1386)

$$K_{Cb} = K_{Cb}(\text{table}) + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] [h/3]^{0.3} \quad [4]$$

$$K_C = \min \{K_r (K_{Cmax} - K_{Cb}), f_{ew} K_{Cmax}\} \quad [5]$$

که در آن K_{Cmax} مقدار حداکثر ضریب گیاهی (K_C) به دنبال آبیاری و بارندگی، K_r ضریب کاهش تبخیر وابسته به عمق جمع‌ی آب تخلیه شده از لایه سطحی خاک، f_{ew} کسری از سطح خاک که بیشترین تبخیر از آن صورت می‌گیرد.

K_{Cmax} بر اساس رابطه زیر محاسبه شد:

$$K_{Cmax} = \max \{ [1.2 + 0.04(u_2 - 2) - 0.004(RH_{min} - 45)] (h/3)^{0.3}, (K_{Cb} + 0.05) \} \quad [6]$$

¹Total evaporable water

²Readily evaporable water

تبخیر و تعرق هر یک از روش‌ها و $ET_i(cal)$ تبخیر و تعرق حاصل از هر یک از روش‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

جدول 1 دامنه تغییرات پارامترهای هواشناسی در طول فصل رشد گیاه سیر را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، منطقه در طول فصل رشد سیر با تجربه دماهای کمتر از صفر، از میانگین دمای 15/3 درجه سانتی‌گراد برخوردار است.

جدول 1- دامنه تغییرات پارامترهای هواشناسی در طول فصل

رشد گیاه سیر

پارامتر	دما (°C)	رطوبت نسبی (%)		سرعت باد (ms ⁻¹)	ساعات آفتابی (h)
		RH _{min}	RH _{max}		
حداکثر	36	98	60	26	13/5
حداقل	10/2	-6/7	24	0	0
میانگین	24/1	6/6	55/6	6/2	9/4

نیاز آبی سیر با اندازه‌گیری میزان آب آبیاری و بارندگی در بین دو نوبت آبیاری و اندازه‌گیری زه‌آب لایسیمتر قبل از آبیاری با استفاده از معادله بیلان آبی محاسبه گردید. نیاز آبی گیاه مرجع نیز با اندازه‌گیری لایسیمتر در قالب معادله بیلان آبی محاسبه و با مدل‌سازی به روش شبکه عصبی مصنوعی، تبخیر تعرق گیاه مرجع برای دوره رشد سیر تولید شد. برای اطلاع بیشتر به منبع قاسمی (1387) مراجعه شود.

ماتریس همبستگی بین متغیرهای هواشناسی و تبخیر تعرق گیاه سیر در جدول 2 آورده شده است.

جدول 2- ماتریس همبستگی بین متغیرهای هواشناسی و تبخیر تعرق گیاه سیر

	T_{max}	T_{min}	RH_{max}	RH_{min}	n	U	ET_C
T_{max}	1						
T_{min}	0/75**	1					
RH_{max}	-0/29**	-0/29**	1				
RH_{min}	-0/11	0/10	0/47**	1			
n	0/48**	0/16	-0/29**	-0/32**	1		
U	-0/29**	-0/05	-0/04	-0/19	-0/16	1	
ET_C	0/38**	0/23*	-0/15	0/03	0/39**	-0/24*	1

** و * به ترتیب معنی‌داری در سطح 0/01 و 0/05

تخلیه رطوبت (mm) در روز قبل، که برای روز اول می‌توان مقدار آن را برابر با صفر در نظر گرفت و f_{ew} کسری از خاک که تبخیر از آن صورت می‌گیرد و از رابطه 13 محاسبه می‌شود:

$$f_{ew} = \min(1 - f_c, f_w) \quad [13]$$

$1 - f_c$: بخشی از سطح خاک که در آن پوشش گیاهی وجود ندارد (رابطه 14).

$$f_c = [K_{Cb} - K_{Cmin}] / (K_{Cmax} - K_{Cmin})^{(1+0.5h)} \quad [14]$$

f_c کسری از خاک که به وسیله گیاه پوشانده شده است، K_{Cb} مقدار ضریب گیاهی پایه برای یک روز و یا یک دوره به‌خصوص، K_{Cmin} حداقل K_C برای خاک خشک بدون پوشش که معمولاً 0/17 در نظر گرفته می‌شود (علیزاده و کمالی 1386). به دلیل محدودیت در حجم مقاله امکان توضیح کامل همه متغیرها وجود نداشت. نحوه محاسبه هر یک از پارامترهای مربوطه به تفصیل در مرجع علیزاده و کمالی (1386) موجود می‌باشد.

در نهایت نتایج با معیارهای ارزیابی ضریب همبستگی r^1 ، میانگین مربع خطا ($RMSE$) و میانگین خطای مطلق (MAE) و میانگین خطای سوگیری $(MBE)^2$ مطابق روابط زیر محاسبه و مورد آزمون قرار گرفت.

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (ET_i(lys) - \overline{ET}(lys))(ET_i(cal) - \overline{ET}(cal))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (ET_i(lys) - \overline{ET}(lys))^2 (ET_i(cal) - \overline{ET}(cal))^2}} \quad [15]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (ET_i(lys) - ET_i(cal))^2} \quad [16]$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |ET_i(lys) - ET_i(cal)| \quad [17]$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{x=1}^n (ET_i(lys) - ET_i(cal)) \quad [18]$$

در روابط بالا، n تعداد داده‌ها، $ET_i(Lys)$

مقدار تبخیر تعرق واقعی (لایسیمتر)، $\overline{ET}(lys)$

میانگین تبخیر و تعرق لایسیمتر، $\overline{ET}(cal)$ میانگین

¹Correlation coefficient

²Mean bias error

فراهمی کامل آب، معادل 546/5 میلی‌متر است. رقم فوق بیش از ارقام گزارش شده توسط ویلالوباس و همکاران (2004) و فابیرو و همکاران (2003) در شرایط کم آبی است. دلیل فزونی نیاز آبی در تحقیق حاضر نسبت به نتایج دو محقق فوق، علاوه بر شرایط متفاوت آب و هوایی و فیزیولوژیکی توده سیر کاشته شده، بیشتر ناشی از عدم اعمال تنش آبی است.

ضریب گیاهی واقعی (معادله 3) و شکل تعدیل یافته آن بر حسب روزهای رشد، محاسبه و در شکل 2 نمایش داده شده است. میانگین ضریب گیاهی به روش میانگین-گیری و روابط رگرسیونی انجام گرفت. به گونه‌ای که برای هر مرحله از رشد گیاه سیر، میانگین ضریب گیاهی در آن مرحله، در نظر گرفته شد.

براساس شکل 2 ضریب گیاهی میانگین در ابتدای رشد 0/5، در انتهای مرحله توسعه به 1/4 رسیده سپس در مرحله میانی ثابت می‌ماند و در مرحله پایانی به 0/3 کاهش می‌یابد. حداکثر مقدار ضریب (1/4) با گزارش آیارز (2007) که این مقدار را بین 1/3 تا 1/4 گزارش کرد، مطابقت دارد. علت کوچک بودن ضریب گیاهی در انتهای مرحله پایانی رشد، این است که محصول قبل از برداشت در زمین خشک شده است (علیزاده و کمالی 1386). همان‌گونه که در شکل 2 مشخص است مقدار K_c در مقیاس روزانه تغییرات شدیدی دارد. این تغییرات می‌تواند ناشی از خطای اندازه‌گیری عوامل معادله بیلان و عوامل اقلیمی باشد (سبزی‌پرور و همکاران 1387). بررسی نتایج دیگر محققان نیز نشان داد که تبخیر تعرق وابستگی شدیدی به عوامل اقلیمی از جمله دمای هوا، تشعشع و سرعت باد دارد که در راستای نتایج مطالعه حاضر است (ایرماک و همکاران 2003).

ضرایب گیاهی منفرد و دوگانه براساس دستور العمل فائو 56 محاسبه گردید. شکل 3 حاکی از تغییرات این ضرایب در طول فصل رشد سیر هستند. همان‌گونه که در شکل 3 مشاهده می‌شود ضریب دوگانه در طول

همان‌گونه که در این جدول ملاحظه می‌شود، ساعات آفتابی بیشترین و حداقل رطوبت نسبی کمترین همبستگی را با تبخیر و تعرق سیر دارند. این امر اهمیت ساعات آفتابی و به عبارت دیگر تشعشع را در مقدار تبخیر و تعرق می‌رساند که در راستای مطالعه سبزی-پرور و همکاران (1387) و ایرماک و همکاران (2003) می‌باشد. محققین مذکور تابش خورشیدی را از مهم‌ترین پارامترهای هواشناسی در برآورد تبخیر و تعرق برای مناطق با اقلیم نیمه‌خشک دانسته‌اند.

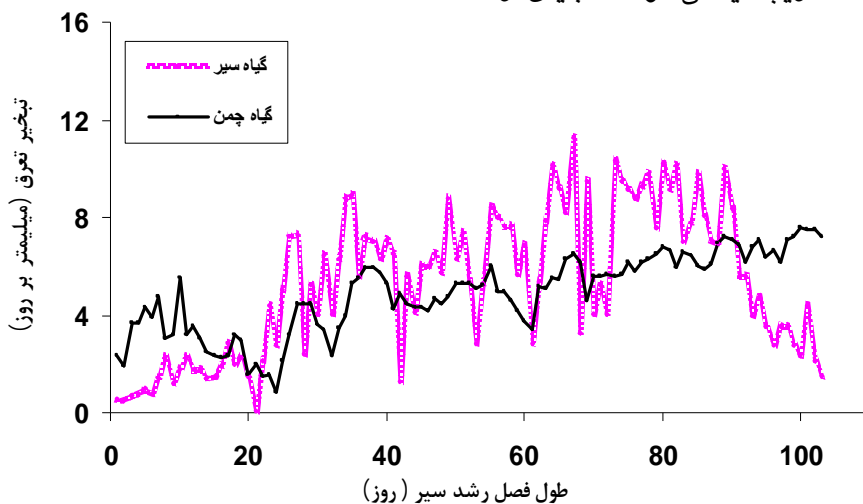
روند نیاز آبی سیر (ET_c) و نیاز آبی گیاه مرجع (ET_0) برای روزهای مختلف رشد محاسبه و در شکل 1 آورده شده است. بررسی نتایج شکل 1 نشان می‌دهد حداکثر و حداقل نیاز آبی گیاه سیر به ترتیب 0/1 و 11/22 میلی‌متر در روز و برای گیاه مرجع برابر 0/88 و 7/56 میلی‌متر در روز می‌باشد. میزان عملکرد سیر در لایسیمترها به مقدار 15/63 تن در هکتار به دست آمد. کارایی مصرف آب¹ (WUE) 2/85 گرم به ازای هر کیلوگرم تبخیر تعرق بود که همخوانی نزدیکی با نتیجه 2/8 گرم به ازای هر کیلوگرم تبخیر و تعرق گزارش شده توسط ویلالوباس و همکاران (2003) در منطقه نیمه-خشک گرم اسپانیا دارد. اختلاف بین ET_0 و ET_c در طول فصل رشد گیاه سیر نشان از افزایش نیاز آبی گیاه سیر در این دوره است. همان‌گونه که در شکل 1 مشخص است این اختلاف در دوره‌های پایانی رشد گیاه سیر افزایش یافته که می‌تواند ناشی از بالا بودن نیاز آبی در دوره اتمام رشد باشد. همچنین در آغاز و پایان دوره رشد، ET_0 بیش از ET_c بوده اما در اواسط دوره رشد با افزایش شاخص سطح برگ، ET_c افزایش یافته و بیش از ET_0 شده است. قیصری و همکاران (1385) نیز نتیجه‌ای مشابه برای گیاه ذرت علوفه‌ای به دست آوردند که با نتیجه این مطالعه همخوانی دارد.

بررسی روند تغییرات تبخیر و تعرق گیاه سیر نشان می‌دهد نیاز آبی گیاه سیر طی فصل رشد در شرایط

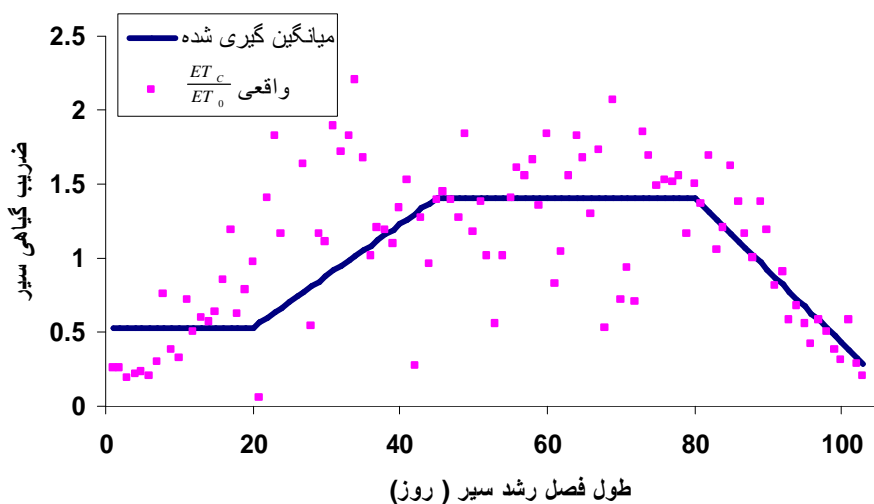
¹Water use efficiency

ضریب گیاهی منفرد می‌باشد. اما در پایان دوره، مقدار ضریب دوگانه کاهش یافته است.

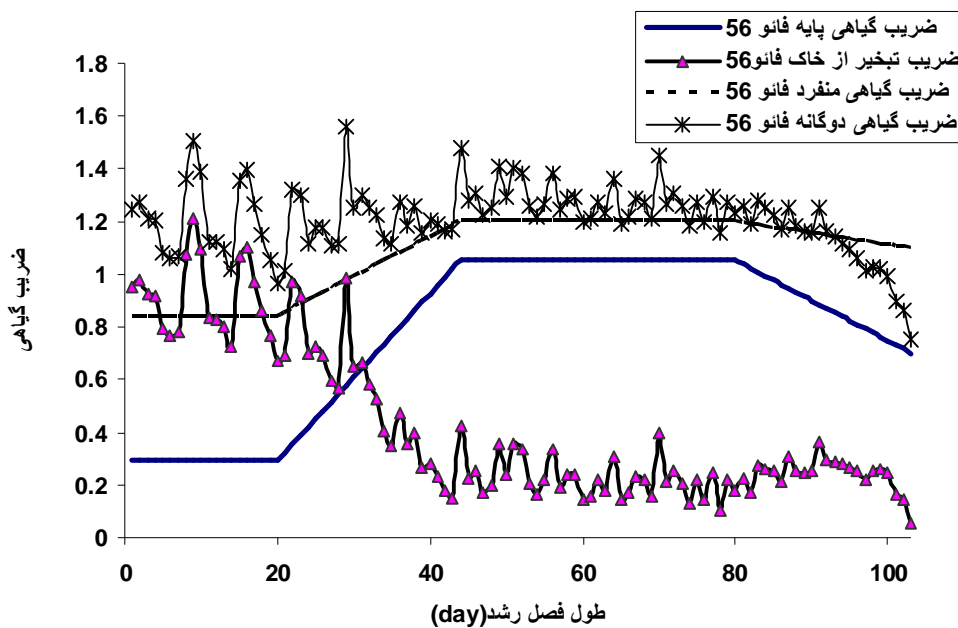
فصل رشد گیاه سیر کاهش یافته است، علت نزول تدریجی می‌تواند ناشی از کاهش ضریب تبخیر از خاک به دلیل افزایش سطح سایه‌انداز گیاه باشد. در دوره آغازین و میانی رشد، ضریب گیاهی دوگانه بیش از



شکل ۱- تغییرات تبخیر تعرق گیاه سیر از لایسیمتر (ET_c) و گیاه چمن (ET_0) در دوره رشد گیاه سیر



شکل ۲- مقادیر ضریب گیاهی واقعی و میانگین گیری شده سیر



شکل ۳- مقادیر ضریب گیاهی منفرد و دوگانه فانو ۵۶ در طول فصل رشد سیر

روش دیگر (ضریب گیاهی منفرد و مدل رگرسیونی) مجذور میانگین مربعات خطای کمتر و همبستگی بیشتری دارد ($RMSE = 2/46 \text{ mmd}^{-1}$ و $r = 0/59$). اما سادگی کار در برآورد ضریب منفرد و مدل رگرسیونی قابل کتمان نمی‌باشد. جدول 3 نشان می‌دهد خطای تبخیر و تعرق حاصل از مدل رگرسیونی نسبت به روش دیگر بیشتر است. همان گونه که در معادله 15 نشان داده شد تبخیر تعرق تابعی خطی از تعدادی عوامل مهم اقلیمی بوده در حالی که این فرآیند غیر خطی می‌باشد و محققین جهت سهولت کار سعی در خطی نمودن آن دارند (کمار و همکاران، 2008). اگرچه ضریب همبستگی مدل‌ها از مقدار کمی برخوردار است، اما لازم به ذکر است که میزان همبستگی به تنهایی نمی‌تواند روش مناسبی برای قضاوت در خصوص کارکرد مدل‌ها باشد (لانگ و برون، 1985). بنابراین با در نظر گرفتن خطاهای $RMSE$ ، MBE و MAE ، نتایج مدل‌ها قابل قبول است. پراکنش ET_C برآوردی با اعمال ضرایب دوگانه، منفرد در تبخیر تعرق مرجع و مدل رگرسیونی در کنار داده‌های لایسیمتری در طول فصل رشد سیر در شکل 4 نشان داده شده است.

با اعمال پارامترهای هواشناسی در مدل رگرسیونی چند متغیره، سعی در ارائه مدلی ساده به منظور برآورد تبخیر و تعرق گیاه سیر شد. مدل رگرسیونی ارائه شده به صورت زیر می‌باشد:

$$ET_C = 0.11 T_{\max} + 0.01 T_{\min} - 0.01 RH_{\max} + 0.05 RH_{\min} + 0.28 n - 0.07 U - 0.12 \quad (15)$$

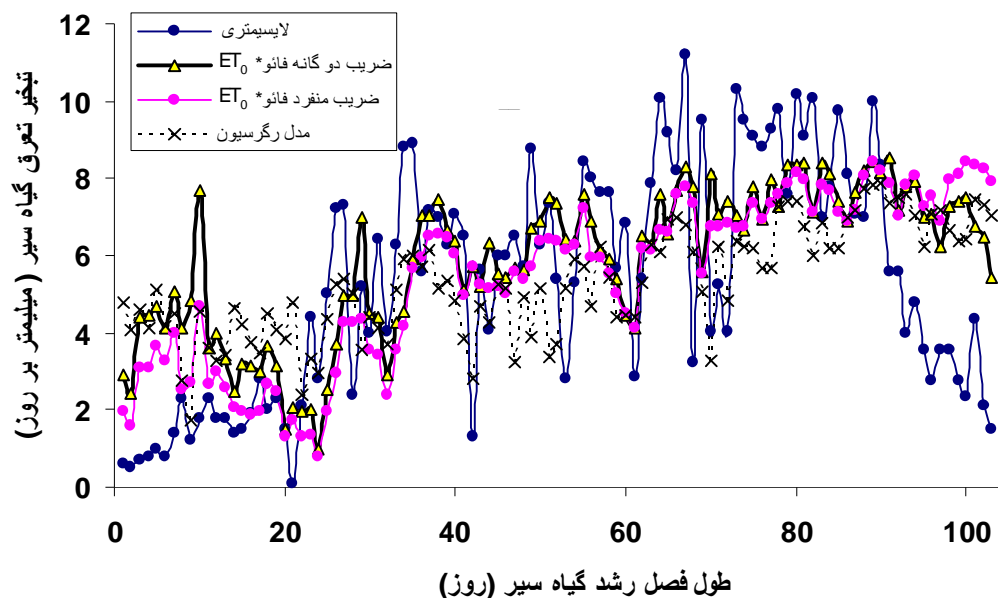
جدول 3 نتایج شاخص‌های آماری ضریب همبستگی (r)، میانگین مطلق خطا (MAE)، مجذور میانگین مربعات خطا ($RMSE$) و میانگین خطای سوگیری (MBE) در برآورد تبخیر و تعرق گیاه سیر از ضرایب منفرد، دوگانه و مدل رگرسیونی را نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج شاخص‌های آماری ضرایب گیاهی دوگانه و

منفرد و مدل رگرسیونی در برآورد ET_C

MBE (mmd^{-1})	$RMSE$ (mmd^{-1})	MAE (mmd^{-1})	r	ET_C
-۰/۱۳	۲/۴۹	۲/۰۰	۰/۵۷	ضریب گیاهی منفرد* ET_0
-۰/۵۶	۲/۴۶	۲/۰۷	۰/۵۹	ضریب گیاهی دوگانه* ET_0
-۰/۰۰۰۴	۲/۵۹	۲/۲۱	۰/۴۸	مدل رگرسیونی

با در نظر گرفتن شاخص‌های آماری، تبخیر و تعرق سیر حاصل از ضریب گیاهی دوگانه نسبت به دو



شکل ۴- پراکنش برآورد تبخیر تعرق سیر از ضرایب گیاهی و مدل رگرسیونی

مقدار نیاز آبی برابر 546/5 میلی متر و کارآیی مصرف آب (WUE) 2/85 گرم به ازای هر کیلوگرم تبخیر و تعرق تعیین شد. برای محاسبه ضریب گیاهی، مقدار تبخیر و تعرق گیاه مرجع توسط شبکه عصبی مصنوعی در طول دوره رشد سیر پیش‌بینی گردید. ضمن آن‌که با توصیه فائو 56 مقادیر ضرایب گیاهی منفرد و دوگانه با توجه به اطلاعات هواشناسی منطقه به‌دست آمد. نتایج نشان از برتری ضریب دوگانه نسبت به ضریب منفرد در تعیین نیاز آبی سیر بود. همچنین با اجرای مدل رگرسیونی چند متغیره، ارتباط بین تبخیر و تعرق گیاه سیر با پارامترهای هواشناسی در منطقه مورد مطالعه حاصل شد.

براساس شکل 4 در قسمت‌های ابتدایی و انتهایی رشد، پراکنش بیشتری در ضرایب گیاهی منفرد و دوگانه نسبت به نتایج لایسیمتری مشاهده می‌شود که با نتایج میرزایی و همکاران (1386) مطابقت دارد و حاکی از لزوم تصحیح و کالیبراسیون مقادیر ضریب گیاهی و روابط ارائه شده توسط فائو 56 برای اقلیم‌های مختلف می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با توجه به اهمیت اقتصادی و ارزش غذایی گیاه سیر در منطقه همدان اقدام به کشت گیاه سیر در سال 1386-1387 به منظور تعیین نیاز آبی و ضرایب گیاهی آن شد. با بررسی نتایج لایسیمتری،

منابع مورد استفاده

- زاهدی ب، کاشی ع، زمانی ن و مصباحی غ ح، 1387. تنوع ژنتیکی برخی توده‌های سیر (*Allium sativum* L.) ایران با استفاده از نشانگرهای RAPD. مجله علوم کشاورزی ایران. 39: 245-256.
- سبزی‌پرور ع ا، تفضلی ف، زارع ایبانه ح، بانژاد ح، موسوی بایگی م، غفوری م، محسنی موحد ا و مریانجی ز، 1387. مقایسه چند مدل برآورد تبخیر- تعرق گیاه مرجع در یک اقلیم سرد نیمه‌خشک به‌منظور استفاده بهینه از مدل‌های تابش. مجله علمی پژوهشی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). 22: 328-340.

- علیزاده ا، کمالی غ، 1386. نیاز آبی گیاهان در ایران. انتشارات دانشگاه امام رضا، چاپ اول. 223 صفحه.
- قاسمی ع، زارع ابیانه ح، امیری چایجان ر، محمدی ک، معروفی ص و احمدی م، 1386. ارزیابی دقت تبخیر و تعرق برآوردی (ET₀) از روش‌های تجربی و شبکه‌های عصبی مصنوعی در مقایسه با نتایج لایسیمتری. مجله پژوهش کشاورزی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا. 7: 245-258.
- قاسمی ع، 1387. ارزیابی تبخیر و تعرق سیر در همدان با استفاده از مدل‌های تجربی و شبکه‌های عصبی مصنوعی و لایسیمتر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی سینا همدان.
- قیصری م، میرلطیفی س م، همایی م و اسدی م، 1385. تعیین نیاز آبی ذرت علوفه‌ای و ضربی گیاهی آن در مراحل مختلف رشد. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی. 7: 125-142.
- میرزایی م، سهرابی ت و لیاقت ع. 1386. تعیین ضریب تبخیر و تعرق گیاهی در شرایط واقعی برای چغندر قند در دشت قزوین و مقایسه آن با روش‌های پیشنهادی FAO. نهمین کنفرانس آبیاری و کاهش تبخیر. دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- Allen RG, 2000. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. *J Hydrol* 229: 27-41.
- Allen RG, Clemments AJ, Burt CM, Solomon K and Ohalloran T, 2005. Prediction accuracy for project – wide evapotranspiration using crop coefficients and reference evapotranspiration. *J Irrig Drain Engin* 131: 24-36.
- Allen RG, Pereira LS, Rase D and Smith M, 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO, Rome, Italy.
- Allen RG, Pereira LS, Smith M and Wright JL, 2005. FAO-56 Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J Irrig Drain Engin* 131: 2-13.
- Ayars JE, 2007. Water requirements of irrigated garlic. Proceedings of the American Society of Agricultural and Biological Engineers International (ASABE). Paper #72285, ASABE Annual
- Benli B, Kodal S, Ilbeyi A, and Ustun H, 2006. Determination of evapotranspiration and basal crop coefficient of alfalfa with a weighing lysimeter. *J Agric Water Manag* 81: 358-370.
- Bodner G, Loiskandl W and Kaul HP, 2007. Cover crop evapotranspiration under semi-arid conditions using FAO dual crop coefficient method with water stress compensation. *J Agric Water Manag* 93: 85-98.
- Doorenbos J and Pruitt WO, 1977. Guidelines for predicting crop water requirements. Irrigation Drainage Paper No. 24, FAO, Rome, Italy
- Fabeiro Cortes C, Martin de Santa Olalla F and Lopez Urea R, 2003. Production of garlic under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. *J Agric Water Manag* 59: 155-167.
- Hanson B, May D, Voss R, Cantwell M and Rice R, 2002. Response of garlic to irrigation water. *J Agric Water Manag* 58: 29-43.
- Irmak S, Irmak A, Allen RG and Jones JW, 2003. Solar and net radiation based equations to estimate reference evapotranspiration in humid climates. *J Irrig Drain Engin* 129: 336-347.

- Kumar M, Bandyopadhyay A, Raghuwanshi NS and Singh R, 2008. Comparative study of conventional and artificial neural network-based ET_0 estimation models. *J Irrigation Science* 26: 531-545.
- Lang H and Braun L, 1985. Schmelzwasser-Abfluss-Modelle für Schnee-und Gletschergebiete, Mitteilungen der arbeitsgruppe, Schneedecke und Hydrologie 1: 40-45.
- Lopez-Urrea R, Santa Olalla FM, Montoro A and Lopez-Fuster P, 2009. Single and dual crop coefficients and water requirements for onion (*Allium cepa* L.) under semiarid conditions. *J Agric Water Manag* 96: 1031–1036.
- Lovelli S, Pizza S, Caponio T, Rivelli AR and Perniola M, 2005. Lysimetric determination of muskmelon crop coefficients cultivated under plastic mulches. *Agric Water Manag* 72: 147–159.
- Phene CJ, McCormick RL and Miyamoto JM, 1985. Evapotranspiration and crop coefficient of trickle-irrigated tomatoes. *In: Proceedings of the Third International Drip/Trickle Irrigation Congress, Drip/Trickle Irrigation in Action. November 18–21, 1985, Fresno, CA, USA.*
- Pruitt WO and Snyder RL, 1985. Crop water use. *In: Pettygrove, GS, Asano, T (eds.), Irrigation with Reclaimed Municipal Water: A Guidance Manual. Lewis Publishers Inc., MI.*
- Rizzalli RH, Villalobos FJ and Orgaz F, 2002. Radiation interception, radiation-use efficiency and dry matter partitioning in garlic (*Allium sativum* L.). *Europ J Agron* 18: 33-43.
- Snyder RL, Lanini BJ, Shaw DA and Pruitt WO, 1987. Using reference evapotranspiration (ET_0) and crop coefficients to estimate crop evapotranspiration (ET_c) for agronomic crops, grasses, and vegetable crops. University of California, Division of Agriculture and Natural Resources Leaflet 21427, 12 p.
- Suleiman AA, Tojo Soler CM and Hoogenboom G, 2007. Evaluation of FAO-56 crop coefficient procedures for deficit irrigation management of cotton in a humid climate. *J Agric Water Manag.* 91: 33–42.
- Villalobos FJ, Testi L, and Rizzalli Orgaz F, 2004. Evapotranspiration and crop coefficients of irrigated garlic in a semi-arid climate. *J Agric Water Manag* 64: 233-249.
- Wright JL, 1982. New evapotranspiration crop coefficients. *J Irrig Drain Division, Am Soc Civil Engin* 108: 57–74.