

## تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی خیار با استفاده از میکرو لایسیمتر در شرایط گلخانه

فریده فتحعلیان<sup>۱</sup> و محمدرضا نوری امامزاده‌ئی<sup>\*۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۸/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۶/۷)

## چکیده

منابع آب و خاک کشور محدود می‌باشد و استفاده بهینه از منابع آب در بخش کشاورزی مستلزم تعیین هرچه دقیق‌تر میزان آب مصرفی توسط گیاهان مختلف در شرایط متفاوت می‌باشد. این امر در کشت‌های گلخانه‌ای به لحاظ توسعه سریع آنها بیش از پیش ضروری می‌باشد. در این راستا، به منظور تعیین تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی (K<sub>c</sub>) خیار گلخانه‌ای، دو عدد میکرو لایسیمتر برای کشت خیار و چمن در گلخانه تعبیه شد. میزان تبخیر- تعرق این دو گیاه به روش وزنی و به صورت روزانه اندازه‌گیری گردید. هم‌چنین با استفاده از داده‌های هواشناسی ثبت شده داخل گلخانه، تبخیر- تعرق گیاه مرجع با سه روش پنمن- مانتیث- فائو، هارگریوز- سامانی و ماکینک محاسبه شد. با توجه به فاصله کشت ۴۰×۷۰ سانتی متری بوته‌ها، تبخیر- تعرق خیار در طول دوره رشد چهار ماهه برابر ۲۷۳/۲ میلی متر اندازه‌گیری شد. میانگین مقادیر K<sub>c</sub> خیار گلخانه‌ای در مرحله ابتدایی رشد ۰/۱۴، در مرحله توسعه ۰/۷۸، در مرحله میانی ۱/۳۷ و در مرحله انتهایی ۰/۸۶ به دست آمد. هم‌چنین مقادیر ضریب گیاهی که در آنها تبخیر- تعرق مرجع از روش‌های هارگریوز- سامانی و ماکینک به دست آمده بود به مقادیر واقعی ضریب گیاهی نزدیک‌تر بودند. معادله پنمن- مانتیث- فائو نیز مقدار K<sub>c</sub> را حدود ۱/۶ تا ۵ برابر بیشتر از مقدار واقعی برآورد نمود.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق گیاه مرجع، پنمن- مانتیث- فائو، هارگریوز- سامانی، ماکینک

۱. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: nouri1351@yahoo.com

## مقدمه

در سال‌های اخیر، توسعه سیستم‌های کشاورزی پایدار مورد توجه بوده و کشت گیاهان گلخانه‌ای توصیه شده است. علاوه بر این، به لحاظ این‌که کشت گلخانه‌ای شرایط لازم برای تولید بسیاری از محصولات، خصوصاً صیفی‌جات و سبزی‌ها را در خارج از فصل زراعی و مستقل از شرایط آب و هوایی و نوع اقلیم فراهم می‌آورد، به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته و به‌طور روزافزون توسعه می‌یابد. کشت گیاهان گلخانه‌ای و توسعه این فن یکی از راهکارهایی است که علی‌رغم سرمایه‌گذاری اولیه زیاد می‌تواند در طول عمر پروژه اقتصادی بوده و مصرف آب را تا حد امکان بهینه نماید. تحقیقات متعددی در زمینه کشت‌های گلخانه‌ای صورت گرفته، اما تعیین نیاز آبی و برنامه‌ریزی آبیاری گیاهان گلخانه‌ای کمتر مورد توجه واقع شده است. معمولاً نیاز آبی به‌عنوان تبخیر-تعرق گیاهان بیان شده و از رابطه بین تبخیر-تعرق گیاه مرجع ( $ET_0$ ) و ضریب گیاهی ( $K_C$ ) به‌دست می‌آید ( $ET_C = K_C \cdot ET_0$ ) (۷).

شهابی‌فر و همکاران (۱) در تحقیقی به ارزیابی هفت روش محاسباتی تبخیر-تعرق گیاه مرجع چمن (پنمن-مانتیث-فائو، بلانی-کریدل فائو، تورک، ماکینک، پرستلی-تیلور، تشعشعی فائو ۲۴ و پنمن-مانتیث-ASCE) در گلخانه پرداختند. نتایج نشان داد که روش پنمن-مانتیث-فائو با جذر میانگین مربعات خطای ۱/۳۹ میلی‌متر در روز و ضریب همبستگی ۰/۶۹ از دقت بیشتری برخوردار است و روش بلانی-کریدل فائو با جذر میانگین مربعات خطای ۱/۵۴ میلی‌متر در روز و ضریب همبستگی ۰/۴۹ کمترین دقت را دارد. کیو و همکاران (۱۲) اثر دو روش آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای را بر تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی فلفل قرمز (*Capsicum annum L.*) در گلخانه‌ای در شمال غربی چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که تبخیر-تعرق کل در تمام مراحل رشد برای آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای به‌ترتیب ۵۶۲/۳ و ۳۶۱/۶ میلی‌متر و به‌طور متوسط به‌ترتیب ۱/۹۹ و ۱/۲۸ میلی‌متر در روز می‌باشد. ضریب گیاهی برای آبیاری جویچه‌ای (۰/۴۹-۱/۰۴) بیشتر از مقدار به‌دست آمده از

روش آبیاری قطره‌ای (۰/۸-۰/۵۳) بود. متوسط ضریب گیاهی در تمام مراحل رشد برای آبیاری جویچه‌ای ۰/۹۲ و برای آبیاری قطره‌ای ۰/۷ گزارش گردید. آنها برای تخمین ضریب گیاهی فلفل قرمز در گلخانه براساس شاخص سطح برگ (LAI) تحت شرایط آبیاری جویچه‌ای و قطره‌ای به‌ترتیب روابط (۱) و (۲) را ارایه نمودند:

$$K_C = 0.3 \ln(LAI) + 0.67 \quad [1]$$

$$K_C = 0.15 \ln(LAI) + 0.59 \quad [2]$$

زی‌کان و همکاران (۱۴) تبخیر-تعرق خیار (*Cucumis sativus L.*) را در یک گلخانه خورشیدی در شمال شرقی چین بررسی کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که تبخیر-تعرق خیار با افزایش پارامترهای آب و هوایی مانند تابش خورشیدی، دمای هوا و فشار بخار افزایش می‌یابد که در این رابطه تابش خورشیدی مهم‌ترین اثر را بر تبخیر-تعرق خیار دارد. ضریب تبیین ( $R^2$ ) بین تبخیر-تعرق (ET) و تبخیر از تشت ( $E_p$ )، ۰/۸۶۵ گزارش شد که بیشتر از ضریب تبیین بین ET و  $ET_0$  بود. در این تحقیق، برای ضریب تشت ( $k_p$ ) (نسبت بین ET و  $E_p$ ) و نیز ضرایب گیاهی (نسبت بین ET و  $ET_0$ ) به‌دلیل تغییرات قابل ملاحظه بین آنها و پیروی نکردن از یک الگوی منظم در طول تحقیق، نتیجه‌ای گزارش نگردید.

بلانکو و فولگاتی (۵) تبخیر-تعرق و ضریب گیاهی خیار را در گلخانه بررسی کردند. آنها میانگین دما در بیرون از گلخانه و تبخیر از تشت درون گلخانه را ۱۹/۳ درجه سلسیوس و ۱/۷ میلی‌متر در روز گزارش کردند. طبق گزارش‌ها، مقدار  $K_C$  در ابتدا ۰/۸ و در مرحله توسعه به ۱/۶ رسیده است. آنها مقدار مصرف آب را بعد از ۸۲ روز با تراکم کشت ۲/۵ بوته در هر مترمربع، ۲/۵۵ میلی‌متر در روز و در طی ۱۰۰ روز، ۱۸۰ میلی‌متر گزارش کردند. چارت‌زولاکیس و دروسوس (۶) و الیادز (۸) برای دوره رشد ۳/۵ ماهه، میزان آب مصرفی خیار گلخانه‌ای را به‌ترتیب ۲۹۰ و ۵۰۴ میلی‌متر گزارش کردند. کامورا و همکاران (۱۰) نیز در ژاپن نیاز آبی خیار را در طول دوره رشد ۴ ماهه، ۱۸۰ میلی‌متر به‌دست آوردند. در اسپانیا،

زمستان بود. آمایره و العابد (۴) طی تحقیقی اثر میزان رطوبت نسبی هوا را روی میزان تبخیر- تعرق گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) تحت شرایط کشت گلخانه‌ای بررسی کردند. تبخیر- تعرق مرجع ( $ET_0$ ) توسط معادله پنمن- مانتیث- فائو محاسبه شد.  $K_C$  تعیین شده در این تحقیق با  $K_C$  گوجه‌فرنگی که از معادله فائو به دست آمد مقایسه گردید.  $K_{Cmid}$  این روش ۰/۸۲ بود که با ضریب گیاهی فائو به مقدار ۱/۱۹ (حدود ۰/۳۱) تفاوت داشت. هم‌چنین ضریب گیاهی در انتها ۰/۴۰ کمتر از ضریب گیاهی فائو بود. نتایج نشان داد که  $K_C$  در کل دوره رشد ۰/۳۶ کمتر از مقدار نظیر آن در روش فائو است. این مطالعات هم‌چنین نشان داد که اختلاف زیادی بین  $K_C$  روش فائو و  $K_C$  که با اندازه‌گیری دقیق مزرعه‌ای به دست می‌آید وجود دارد. بنابراین استفاده از  $K_C$  فائو، نیاز آبی گوجه‌فرنگی را بیشتر از مقدار واقعی برآورد خواهد کرد. لذا لازم است برای تخمین صحیح نیاز آبی گوجه‌فرنگی که محصول اصلی بسیاری از گلخانه‌های آن منطقه است، مدیریت صحیحی اعمال شود.

روش‌های برآورد نیاز آبی کشت‌های گلخانه‌ای همگام و همپای توسعه روزافزون این کشت‌ها گسترش نیافته‌اند، و امکان برآورد نیاز آبی برای ادامه توسعه این کشت‌ها اجتناب ناپذیر است. به نظر می‌رسد تعمیم روش‌های برآورد نیاز آبی کشت‌های غیر گلخانه‌ای بتواند نیل به این هدف را تسریع و تسهیل نماید. بر این اساس، تعریف و اجرای طرح‌های تحقیقات با هدف بررسی امکان تعمیم این روش‌ها برای کشت‌های گلخانه‌ای می‌تواند موضوعیت داشته باشد. لذا، این تحقیق با هدف اندازه‌گیری تبخیر- تعرق و ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در مراحل مختلف رشد و سنجش کارایی سه فرمول رایج برای تخمین تبخیر- تعرق در شرایط گلخانه‌ای اجرا شد.

### مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه‌ای شمالی- جنوبی وابسته به سازمان تحقیقات کشاورزی واقع در شمال تهران انجام شد. این گلخانه

ارگاز و همکاران (۱۱) داخل گلخانه‌ای غیر گرمایی با پوشش پلاستیک از لایسیمترهای زه‌کش‌دار و با روش اندازه‌گیری حجمی برای تخمین تبخیر- تعرق چهار گیاه خربزه (*Cucumis melo* L.)، هندوانه (*Citrullus lanatus* L.)، فلفل (*Capsicum annuum* L.) و لوبیا سبز (*Phaseolus vulgaris* L.) استفاده کردند و تبخیر- تعرق را بین ۱۷۰ تا ۳۷۱ میلی‌متر در دوره رشد به دست آوردند. در این تحقیق، نمودار ضرایب گیاهی برای هر چهار گیاه به دست آمد که مقادیر آنها به نوع گیاه، دوره رشد و مدیریت گلخانه بستگی داشت. حداکثر  $K_C$  اندازه‌گیری شده برای گیاهان مختلف که نیاز به قیم نداشتند (خربزه و هندوانه) بین ۱ تا ۱/۱ برابر  $K_C$  اندازه‌گیری شده در شرایط مزرعه بود. در صورتی که برای گیاهان همراه با قیم این نسبت بین ۱/۳ تا ۱/۴ بود.

فرناندز و همکاران (۹) مقادیر ضریب گیاهی ( $K_C$ ) فلفل را تحت شرایط گلخانه‌ای تعیین کردند. آنها به منظور تعیین  $ET_c$  و  $ET_0$  چند لایسیمتر زه‌کش‌دار در دو گلخانه پلاستیکی با شرایط آب و هوایی مشابه نصب کردند. در یک گلخانه و لایسیمترهای آن، فلفل و در دیگری چمن کشت شد. با استفاده از معادله بیلان آبی، مقادیر  $ET_c$  و  $ET_0$  محاسبه شد. مقدار  $K_C$  اولیه تقریباً ۰/۲ در ۱۵ روز بعد از نشا افزایش یافت و به‌طور خطی به حداکثر ۱/۴ در روزهای ۹۰-۸۰ رسید. پس از آن  $K_C$  به ۰/۹ در روز ۱۶۷ رسید و سپس به‌طور خطی تا ۰/۸ در انتهای فصل رشد (روز ۲۵۸) کاهش یافت. مقدار بیشینه  $K_C$  از مقدار گزارش شده در شرایط خارج گلخانه بیشتر بود. یانگ و همکاران (۱۳) طی تحقیقی روی درختان پرتقال (*Citrus sinensis* L.) ۸ ساله (کشت شده در لایسیمتر)، تغییرات روزانه و ساعتی میزان تبخیر- تعرق این گیاه را در یک دوره رشد داخل گلخانه مورد بررسی قرار دادند. آنان طی این تحقیق دریافتند که اختلافات فصلی میزان تبخیر- تعرق معنی‌دار است و نرخ متوسط تبخیر- تعرق در تابستان به بیش از ۴/۴ و در زمستان به ۰/۶ میلی‌متر در روز می‌رسد. متوسط ضریب گیاهی فصلی به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۷۵ در طول تابستان و

تحقیقاتی دارای پوشش پلاستیکی با مساحت ۲۰۰ مترمربع بوده و اسکلت آن به صورت قوسی و چهار قلو و دارای چهار سالن می‌باشد. هر سالن از ۵ ردیف کشت به طول ۱۴ متر و فواصل ۷۰ سانتی‌متر از هم تشکیل شده است. سیستم آبیاری مورد استفاده، آبیاری قطره‌ای بود. این گلخانه مجهز به ابزار لازم برای اندازه‌گیری داده‌های هواشناسی شامل دماسنج (مدل Max/Min Thermometer مدل TYR1059)، رطوبت‌سنج (مدل TCM-250483) و لوکس‌متر (مدل TCM-250483) بود. هم‌چنین هر سالن تجهیزات گرمایشی و سرمایشی داشت و سقف هر سالن مجهز به دریچه‌های پلاستیکی بود که در صورت لزوم امکان تهویه را فراهم می‌نمود.

قبل از انجام طرح، آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی روی خاک مورد استفاده صورت گرفت و بسترسازی خاک انجام شد. سپس دو عدد میکرو لایسیمتر از جنس PVC با قطر ۲۸ و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر برای کشت خیار و چمن و نیز یک عدد ترازوی دیجیتالی با دقت یک صدم گرم درون گلخانه تعبیه گردید. نتایج آزمایش‌های فیزیکی و شیمیایی انجام شده بدین صورت بود که EC و pH خاک با استفاده از دستگاه EC متر و pH متر (مدل PDC 915) به ترتیب ۳/۴۲ دسی‌زیمنس بر متر و ۷/۱۹ به دست آمد که هر دو در دامنه قابل قبول برای کشت گیاه خیار قرار داشتند. بافت خاک، لوم شنی و وزن مخصوص ظاهری آن ۱/۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب بود. مقدار گنجایش زراعی (FC) خاک نیز در آزمایشگاه با استفاده از دستگاه صفحه فشاری (Pressure plate)، ۱۰/۷ و به روش صحرائی ۱۶/۹ درصد وزنی به دست آمد. به علت وجود اختلاف قابل ملاحظه در مقادیر FC آزمایشگاهی و صحرائی، مقدار FC در محدوده ۱۴ الی ۱۶ درصد در نظر گرفته شد.

بذرهای خیار که از ۷۲ ساعت قبل خیس شده و جوانه زده بودند در ردیف‌هایی به طول ۱۴ متر و با فواصل ۴۰ سانتی‌متر از هم در فضای گلخانه کاشته شدند. هم‌چنین درون یکی از میکرو لایسیمترها بذر خیار کشت گردید. رقم بذر خیار استفاده شده *Fl L666* بود که وزن هزار دانه معادل

۲۵ گرم، درجه خلوص ۹۹٪ و ۸۵٪ جوانه‌زنی داشت. به منظور تعیین تبخیر و تعرق گیاه مرجع، ۴۰ روز قبل از شروع آزمایش، بذر چمن (*Barbara*) در یک میکرو لایسیمتر کشت شد. از آنجایی که پس از سبز شدن جوانه‌ها و در مراحل ابتدایی رشد، گیاه خیار به آب بسیار کمی نیاز دارد در حد مرطوب شدن سطح خاک در حدود ۱۰۰ گرم آب به میکرو لایسیمتر مربوطه اضافه شد. پس از ۱۱ روز و با سه برگی شدن گیاه خیار، جهت عمیق شدن ریشه خیار، به مدت ۱۰ روز به بوته مورد نظر آبی داده نشد. پس از آن به مدت ۵ روز، روزانه ۱۰۰ گرم آب به گیاه داده شد. پس از آن آبیاری بر اساس رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی و با توزین روزانه میکرو لایسیمتر انجام شد. به بیان دیگر، چون وضعیت رطوبتی میکرو لایسیمتر از طریق وزنی تعقیب می‌گردید لذا قبل از آبیاری روزانه وزن مجموعه (وزن لایسیمتر و محتویات آن،  $W_{tt}$ ) سنجش شده و سپس وزن آب مورد نیاز روزانه برای رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی ( $W_w$ ) در آن روز با استفاده از رابطه (۳) محاسبه و آبیاری انجام می‌شد:

$$W_w = W_d \cdot (\theta_{FC} - \frac{W_{ty} - W_{tt}}{W_d} \times 100) \quad [3]$$

که در آن،  $W_d$  وزن خاک خشک درون میکرو لایسیمتر در ابتدای آزمایش،  $\theta_{FC}$  رطوبت وزنی خاک در حد ظرفیت زراعی (%)،  $W_{tt}$  وزن لایسیمتر و محتویات آن قبل از آبیاری روزانه و  $W_{ty}$  وزن لایسیمتر و محتویات آن بعد از آبیاری و خروج آب مازاد در روز قبل است. وزن‌ها همگی بر حسب کیلوگرم لحاظ شده‌اند.

حدود ۳ تا ۴ ساعت پس از انجام عملیات آبیاری، زمانی که خروجی احتمالی زه‌آب تحتانی میکرو لایسیمتر به حد صفر می‌رسید، با کسر زه‌آب (در صورت وجود) از آب مصرف شده، مقدار خالص آب به کار رفته برای عملیات آبیاری آن روز اصلاح می‌گردید. توزین مجدد مجموعه در این مرحله ( $W_{ty}$ ) برای برآورد مقدار آب مورد نیاز تا رساندن رطوبت خاک به حد ظرفیت زراعی در روز آتی انجام می‌شد. برای حذف تأثیر

برحسب کیلوگرم بود، تبخیر- تعرق خیار گلخانه‌ای در طول ۴ ماهه دوره رشد ۷۶/۵ کیلوگرم به‌دست آمد و براساس مساحت در نظر گرفته شده برای هر بوته خیار (فاصله کشت ۷۰×۴۰ سانتی‌متر) این مقدار به میلی‌متر تبدیل شد و نهایتاً تبخیر- تعرق خیار در طول ۴ ماهه دوره رشد ۲۷۳/۲ میلی‌متر به‌دست آمد. ملایی و ریاحی (۳) در کرمان میزان آب مصرفی خیار گلخانه‌ای را برای فاصله کشت ۹۰×۴۰ سانتی‌متر ۵۱۰/۸ میلی‌متر و کریمی و صدرالدینی (۲) در یزد این میزان را برای فاصله کشت ۴۰×۴۰ سانتی‌متر، ۴۴۰ میلی‌متر به‌دست آوردند. چارت‌زولاکیس و دروسوس (۶) در یونان نیاز آبی خیار گلخانه‌ای را در طول ۳/۵ ماه دوره رشد، ۲۹۰ میلی‌متر گزارش کردند. الیادز (۸) متوسط میزان آب مصرفی خیار را در طول دوره رشد، ۵۰۴ میلی‌متر گزارش کرد. کامورا و همکاران (۱۰) نیز در ژاپن نیاز آبی خیار را تحت دو روش آبیاری قطره‌ای و لوله‌های سوراخ‌دار به‌ترتیب ۱۸۰ و ۳۳۶ میلی‌متر در دوره رشد ۴ ماهه به‌دست آوردند.

با در نظر گرفتن چمن به‌عنوان گیاه مرجع و از طریق محاسبه نسبت تبخیر- تعرق خیار به تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن، ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در مراحل مختلف رشد محاسبه شد. مقادیر اندازه‌گیری شده تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن و هم‌چنین خیار و ضریب گیاهی محاسبه شده خیار به‌ترتیب در جدول ۱ و شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. هم‌چنین مقادیر ضریب گیاهی خیار از نسبت تبخیر- تعرق اندازه‌گیری شده خیار به مقادیر برآورد شده تبخیر- تعرق گیاه مرجع از سه معادله پنمن- مانتیث- فائو، هارگریوز- سامانی و ماکینک به‌دست آمد که نتایج آن در شکل ۳ نشان داده شده است.

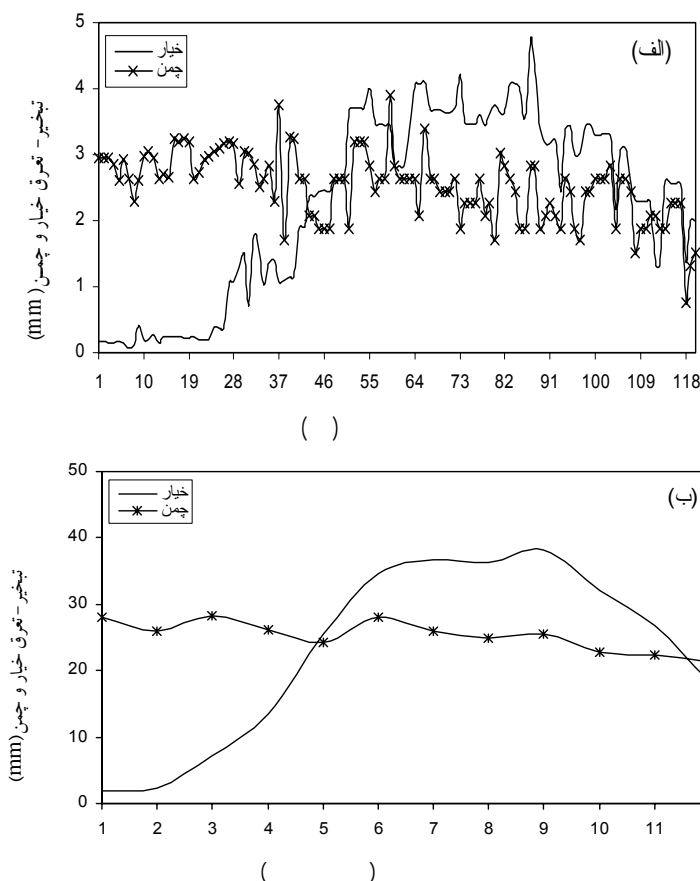
شکل‌های ۱ و ۲ گویای این مطلب‌اند که نمودار تبخیر- تعرق خیار همان‌گونه که انتظار می‌رود یک روند صعودی، ثابت و سپس نزولی را طی می‌کند که نشان‌دهنده مراحل مختلف رشد گیاه می‌باشد. این پدیده را می‌توان این‌گونه تشریح نمود که در ابتدای دوره رشد (دوره رشد اولیه) به‌علت کوچک بودن

وزن برگ و اندام هرس شده یا خشکیده و محصول برداشت شده در محاسبات نیاز آبی، این عملیات در حد فاصل زمان آبیاری تا توزین مجدد (۳ تا ۴ ساعت فوق‌الذکر) انجام می‌شد. ضمن آن‌که وزن اندام جدا شده نیز اندازه‌گیری می‌شد تا در دیگر محاسبات طرح از آنها استفاده گردد.

در مورد میکرولاسیمتر حاوی چمن نیز به همین ترتیب عمل شد. عملیات سمپاشی و کوددهی براساس توصیه‌های سازمان تحقیقات کشاورزی به‌طور یکنواخت در تمام سطح گلخانه صورت گرفت و در برخی موارد از جمله شیوع کرم‌ها، علاوه بر مبارزه شیمیایی، مبارزه مکانیکی با آفات نیز انجام شد. وجین علف‌های هرز در چند مرحله صورت گرفت. به‌منظور جلوگیری از شکستگی و رشد بیشتر بوته‌ها در طول فصل رشد، شاخه‌های جانبی قطع و میوه‌های بالغ به‌طور مرتب برداشت شد. پایش ارتفاع ۱۲ سانتی‌متری چمن نیز با دقت صورت گرفت. دمای محیط گلخانه در محدوده ۱۶ الی ۳۲ درجه سلسیوس نگه داشته شد. پس از جمع‌آوری داده‌ها و با داشتن وزن آب مصرفی روزانه دو گیاه خیار و چمن و جمع مقادیر روزانه آب مصرفی، تبخیر- تعرق یعنی نیاز آبی این دو گیاه در گلخانه طی دوره رشد محاسبه گردید. با در نظر گرفتن گیاه چمن به‌عنوان مرجع و از طریق محاسبه نسبت آب مصرف شده برای تبخیر- تعرق گیاه خیار به آب مصرفی گیاه چمن، ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در مراحل مختلف رشد برآورد گردید. هم‌چنین با مرجع قرار دادن تبخیر- تعرق برآورد شده از سه معادله پنمن- مانتیث- فائو، هارگریوز- سامانی و ماکینک با استفاده از داده‌های هواشناسی درون گلخانه، ضریب گیاهی به‌دست آمد.

## نتایج و بحث

پس از جمع‌آوری داده‌ها و با داشتن وزن آب مصرفی روزانه دو گیاه خیار و چمن، تبخیر- تعرق این دو گیاه در گلخانه به‌صورت روزانه و در کل دوره رشد محاسبه گردید. از آنجا که اساس کار، بیلان وزنی آب مصرفی و ثبت روزانه عوامل بیلان

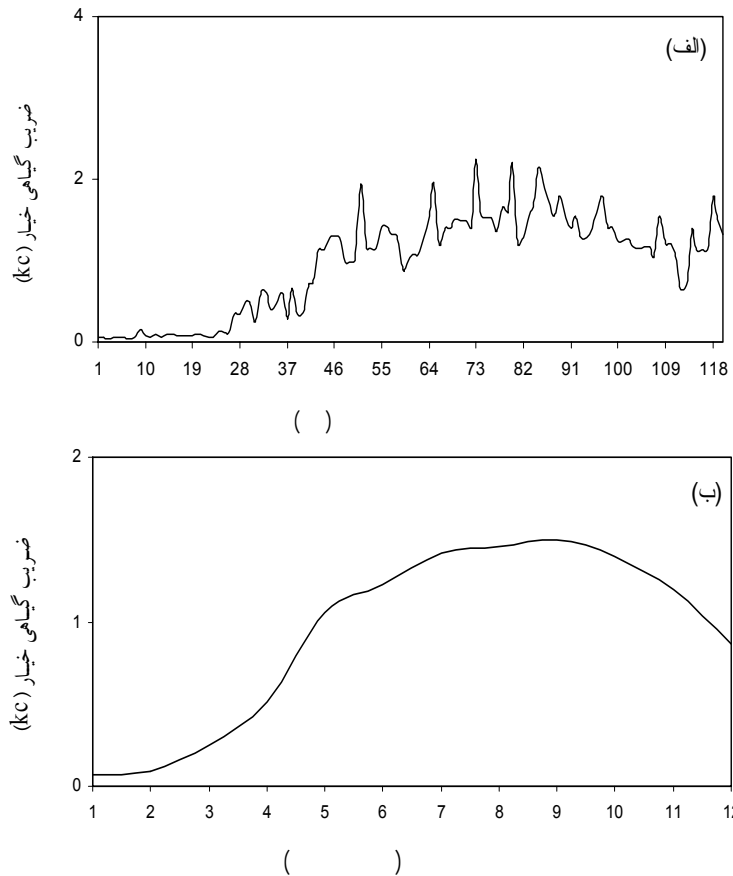


شکل ۱. تبخیر- تعرق خیار گلخانه‌ای و چمن در طول دوره رشد: الف) روزانه و ب) مجموع دوره ده روزه

نزولی به خود می‌گیرد. به‌علت تکرار پدیده میوه‌دهی در طول دوره رشد گیاه، این فراز و فرودها در کل نمودار قابل مشاهده می‌باشد. طولانی‌تر بودن دوره رشد میانی نسبت به دوره‌های رشد اولیه، توسعه و انتهای با توجه به غالب بودن دوره میوه‌دهی در گیاه خیار قابل توجیه می‌باشد.

نمودار ضریب گیاهی خیار نیز از روندی مشابه آنچه در بالا گفته شد پیروی می‌کند. به‌طوری‌که مقدار ضریب گیاهی در دهه اول رشد ۰/۰۷ بوده، به تدریج افزایش یافته و به بیشینه مقدار یعنی ۱/۵ در دهه نهم رشد رسیده و پس از آن به عدد ۰/۸۶ در انتهای دوره رشد (دهه ۱۲) کاهش یافته است. میانگین  $K_C$  خیار گلخانه‌ای در مرحله ابتدایی رشد ۰/۱۴، در مرحله توسعه ۰/۷۸، در مرحله میانی ۱/۳۷ و در مرحله انتهای ۰/۸۶ به‌دست آمد. کریمی و صدرالدینی (۲) در یزد، ضریب گیاهی خیار را از ۰/۱ در مرحله ابتدایی رشد تا ۱/۴ در مرحله باردهی گزارش

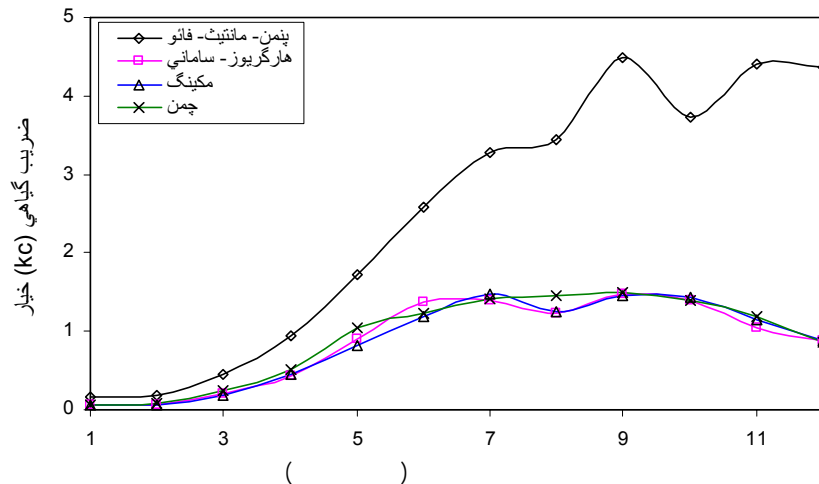
سطح برگ‌ها، تبخیر- تعرق خیار دارای کمترین مقدار بوده و با رشد گیاه و افزایش سطح برگ‌ها این مقدار افزایش یافته و در مرحله میوه‌دهی (دوره رشد میانی) به بیشترین مقدار خود رسیده است. در دهه اول رشد، تبخیر- تعرق خیار، ۱/۹۶ میلی‌متر بوده، سپس به تدریج افزایش یافته و در طی دهه‌های ۶ الی ۹ در طول رشد به افزایش قابل توجهی رسیده است. به‌طوری‌که در طی دهه نهم رشد، تبخیر- تعرق خیار به بیشینه مقدار خود یعنی ۳۸/۲۵ میلی‌متر دست یافته است. پس از طی دوره رشد میانی، تبخیر- تعرق گیاه به تدریج کاهش یافته و در انتهای دوره رشد، یعنی در دهه دوازدهم، به ۱۸/۳۲ میلی‌متر رسیده است. نمودار روزانه تبخیر- تعرق خیار علاوه بر برخورداری از روند صعودی و نزولی دارای تکرار نوسانی نیز می‌باشد. این نوسانات در زمان شکوفه‌دهی شروع شده و با تکمیل میوه به اوج خود رسیده و با چیدن میوه از بوته روند



شکل ۲. ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در طول دوره رشد: الف) میانگین روزانه و ب) میانگین دوره‌های ده روزه

جدول ۱. تبخیر- تعرق خیار و چمن و ضریب گیاهی ( $K_c$ ) خیار (مجموع هر دهه)

متوسط ضریب گیاهی خیار در هر دهه	تبخیر- تعرق خیار در هر دهه		تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن در هر دهه (mm)	دوره رشد	شماره دهه از شروع دوره رشد
	(mm)	(kg)			
۰/۰۷	۱/۹۶	۰/۵۵	۲۸/۰۰		۱
۰/۰۹	۲/۲۹	۰/۶۴	۲۶/۰۳	اولیه	۲
۰/۲۵	۷/۱۱	۱/۹۹	۲۸/۲۱		۳
۰/۵۱	۱۳/۴۳	۳/۷۶	۲۶/۱۴	توسعه یافته	۴
۱/۰۵	۲۵/۴۶	۷/۱۳	۲۴/۲۴		۵
۱/۲۳	۳۴/۵۷	۹/۶۸	۲۸/۱۵		۶
۱/۴۱	۳۶/۷۹	۱۰/۳۰	۲۶/۰۱		۷
۱/۴۶	۳۶/۳۹	۱۰/۱۹	۲۴/۹۹		۸
۱/۵۰	۳۸/۲۵	۱۰/۷۱	۲۵/۵۶	میانی	۹
۱/۴۰	۳۱/۹۶	۸/۹۵	۲۲/۸۰		۱۰
۱/۱۹	۲۶/۷۱	۷/۴۸	۲۲/۴۲		۱۱
۰/۸۶	۱۸/۳۲	۵/۱۳	۲۱/۲۳	انتهاپی	۱۲



شکل ۳. ضریب گیاهی خیار گلخانه‌ای در طول دوره رشد براساس تبخیر- تعرق مرجع برآورد شده

جدول ۲. متوسط مقادیر ضریب گیاهی خیار داخل گلخانه

مرحله رشد	پنمن-مانتیث-فائو	ماکینک	هارگریوز-سامانی	اندازه‌گیری شده
ابتدایی	۰/۲۷	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۳۶
توسعه	۱/۳۴	۰/۶۳	۰/۶۸	۰/۷۸
میانی	۳/۶۵	۱/۳۲	۱/۳۲	۱/۳۶
انتهایی	۴/۳۷	۰/۸۹	۰/۸۷	۰/۸۶

پنمن-مانتیث-فائو، هارگریوز-سامانی و ماکینک (به ترتیب برابر ۲/۰۱۵، ۳/۰۵۵ و ۳/۱۹۴) نیز مؤید این مطلب می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، میزان تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن و خیار در داخل گلخانه اندازه‌گیری شد. میزان تبخیر- تعرق خیار گلخانه‌ای در طول ۴ ماهه دوره رشد ۲۷۳/۲ میلی‌متر به دست آمد. علاوه بر آن، مقدار ضریب گیاهی ( $K_c$ ) خیار به روش واقعی اندازه‌گیری و با نتایج حاصل از برآورد  $K_c$  به روش‌های ماکینک، هارگریوز-سامانی و پنمن-مانتیث-فائو مقایسه شد که نتایج نشان داد مقادیر  $K_c$  برآورد شده با روش‌های هارگریوز-سامانی و ماکینک به مقادیر اندازه‌گیری شده بسیار نزدیک می‌باشد. این درحالی است که روش پنمن-مانتیث-فائو با خطای بیش برآورد ضریب گیاهی همراه بود و این بیش

کرده‌اند. طبق گزارش بلانکو و فولگاتی (۵) نیز بیشینه ضریب گیاهی خیار ۱/۶ بوده است که با نتایج حاصل از این تحقیق هم‌خوانی دارد.

جدول ۲ و شکل ۳ مقادیر ضریب گیاهی خیار حاصل از تبخیر- تعرق مرجع برآورد شده از روش‌های پنمن-مانتیث-فائو، هارگریوز-سامانی و ماکینک داخل گلخانه را نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل ۳ قابل ملاحظه است، مقادیر ضریب گیاهی حاصل از تبخیر- تعرق مرجع روش‌های هارگریوز-سامانی و ماکینک به مقادیر واقعی ضریب گیاهی بسیار نزدیک می‌باشند. این مقادیر از ۰/۰۵ مربوط به دهه اول رشد تا ۱/۴۷ در مرحله شکوفه‌دهی و میوه‌دهی تغییر می‌کند. معادله پنمن-مانتیث-فائو، مقدار  $K_c$  را حدود ۱/۶ تا ۵ برابر بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرد. مقادیر جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه شده برای  $K_c$  خیار در روش‌های



برآورد از ۱/۶ برابر  $K_C$  اندازه گیری شده در مرحله توسعه تا استفاده از روش پنمن- مانتیث اصلاح شده فائو توصیه  
۵/۰۸ برابر در مرحله انتهایی رشد متغیر است. لذا در شرایط  
گلخانه ای مشابه شرایط این طرح برای تخمین تبخیر و تعرق  
نمی شود.

## منابع مورد استفاده

۱. شهابی فر، م.، م. عصارى، م. کوچک زاده و س. م. میرلطیفی. ۱۳۸۹. ارزیابی برخی از روش های محاسباتی تبخیر- تعرق گیاه مرجع چمن با استفاده از داده های لایسیمتری در شرایط گلخانه ای. مجله پژوهش آب در کشاورزی ۲۴(۱): ۱۳-۱۹.
۲. کریمی، ن. و س. ا. صدرالدینی. ۱۳۸۶. نیاز آبی و ضریب گیاهی خیار در گلخانه. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه باهنر کرمان.
۳. ملایی، ع. و ح. ریاحی. ۱۳۸۶. تعیین آب مصرفی خیار گلخانه ای تحت روش های آبیاری میکرو (قطره ای، تیپ و تیپ زیرسطحی). اولین کارگاه فنی ارتقاء کارایی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه ای، کمیته ملی آبیاری و زه کشی، ۲۶ مهر، کرج.
4. Amayreh, J. and N. Al-Abed. 2005. Developing crop coefficients for field-grown tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under drip irrigation with black plastic mulch. *Agric. Water Manage.* 73: 247-254.
5. Blanco, F. F. and M. V. Folegatti. 2003. Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. *Revis. Bras. de Eng. Agríc. e Amb.* 7(2): 285-291.
6. Chartzoulakis, K. and N. Drosos. 1995. Water use and yield of greenhouse grown eggplant under drip irrigation. *Agric. Water Manage.* 28(2): 113-120.
7. Doorenbos, J. and W. O. Pruitt. 1977. Crop Water Requirements. Irrigation and Drainage Paper No. 24, FAO, Rome.
8. Eliades, G. 1988. Irrigation of greenhouse grown cucumbers. *J. Hort. Sci.* 63(2): 235-239.
9. Fernandez, M. D., M. Gallardo, S. Bonachela, F. Orgaz and E. Fereres. 2000. Crop coefficient of a pepper crop grown in plastic greenhouses in Almeria, Spain. *ISHS Acta Horticulturae*, 537: III International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops.
10. Komamura, M., A. Karimata, A. Mizuta, T. Takasu and A. Yoneyasu. 1990. Fundamental studies on the water irrigation method, water requirement and effect of irrigation for greenhouse cucumber. *J. Agric. Sci.* 35(2): 93-103.
11. Orgaz, F., M. D. Fernandez, S. Bonachela, M. Gallardo and E. Fereres. 2005. Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse. *Agric. Water Manage.* 72: 81-96.
12. Qiu, R., S. Kang, F. Li, T. Du, L. Tong, F. Wang, R. Chen, J. Liu and S. Li. 2011. Energy partitioning and evapotranspiration of hot pepper grown in greenhouse with furrow and drip irrigation methods. *Sci. Hort.* 129: 790-797.
13. Yang, S., M. Aydin, T. Yano and X. Li. 2002. Evapotranspiration of orange trees in greenhouse lysimeters. *Irrig. Sci.* 21(4): 145-149.
14. Zi-kun, Z., L. Shi-qi, L. Su-hui and H. Zhi-jun. 2010. Estimation of cucumber evapotranspiration in solar greenhouse in northeast China. *Agric. Sci. China* 9(4): 512-518.