DOI: 10.22059/IJSWR.2019.280405.668191 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۱۰، اسفند ۱۳۹۸ (ص ۲۴۷۲-۲۴۶۵)

Determination of Water Requirement and Crop Coefficient for Basil (*Ocimum basilicum L.*) under Controlled Greenhouse

HADISSEH RAHIMIKHOOB[1*], TEYMOUR SOHRABI[1], MOJTABA DELSHAD[2]

1. Irrigation and Reclamation Engineering Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. (Corresponding author).

[2.] Horticultural Sciences Department, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: May. 5, 2019- Revised: June. 18, 2019- Accepted: Aug. 10, 2019)

ABSTRACT

The development of agricultural crop cultivation in greenhouse is one of the main strategies for managing water scarcity. Awareness of the crop water requirement and accurate estimation of crop coefficient is one of the most important component in irrigation scheduling and improving water use efficiency. The objective of this research was to determine water requirement and crop coefficient of basil in controlled greenhouse condition. For this purpose, a study was carried out in a research greenhouse of the College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran during a growth period using micro-lysimeter. Micro-lysimeters are useful tools for accurate determination of the crop evapotranspiration under standard conditions (ETc), or the actual crop evapotranspiration (ETa). In this study, the evapotranspiration of the reference crop and the Basil water requirement were estimated using the soil water balance equation. According to the results, average reference and basil crop evapotranspiration during the growth stage were equal to 8.23 and 5.13 mm per day, respectively. Then the crop coefficient was calculated based on the ratio of basil crop and reference evapotranspiration. The average basil crop coefficients for the initial, mid and end growth stages were obtained to be 0.30, 0.86 and 0.76, respectively.

Keywords: Reference crop evapotranspiration, Water requirement, Basil crop coefficient, Greenhouse.

* Corresponding Author's Email: h.rahimikhoob@ut.ac.ir

تعیین نیاز آبی و ضریب گیاهی ریحان در شرایط کشت کنترل شده گلخانه

حدیثه رحیمی‌خوب[1*]، تیمور سهرابی[1]، مجتبی دلشاد[2]

۱. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۲. گروه علوم باغبانی ، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۲/۱۵- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۳/۲۸- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۵/۱۹)

چکیده

توسعه کشت محصولات کشاورزی در محیط گلخانه، یکی از راهکارهای اساسی در مدیریت بحران کم‌آبی است. در این راستا، آگاهی از نیاز آبی گیاهان در شرایط کشت گلخانه و تخمین دقیق ضریب گیاهی از عوامل مهم و اثرگذار در برنامه‌ریزی صحیح آبیاری و افزایش بهره‌وری آب است. هدف از انجام این تحقیق محاسبه نیاز آبی و ضریب گیاهی ریحان در شرایط کشت کنترل‌شده گلخانه است. بدین منظور مطالعه‌ای در داخل گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران طی یک دوره رشد، با استفاده از میکرولایسیمتر انجام گرفت. میکرولایسیمترها ابزار مناسبی برای تعیین دقیق تبخیر- تعرق گیاه در شرایط استاندارد (ET_c) یا به عبارتی تبخیر- تعرق واقعی گیاه (ET_a) می‌باشند. در این تحقیق، تبخیر- تعرق گیاه مرجع و نیاز آبی گیاه ریحان با استفاده از رابطه بیلان آب در خاک تخمین زده شد. با توجه به نتایج، متوسط تبخیرتعرق گیاه مرجع و ریحان طی دوره رشد به ترتیب برابر با ۸/۲۳ و ۵/۱۳ میلی‌متر بر روز به دست آمد. سپس ضریب گیاهی از نسبت تبخیر- تعرق گیاه به تبخیر- تعرق مرجع در طول دوره رشد محاسبه گردید. متوسط مقادیر ضریب گیاهی ریحان برای مراحل اولیه، میانی و پایانی به ترتیب برابر با ۰/۳۰، ۰/۸۶ و ۰/۷۶ به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: تبخیر- تعرق گیاه مرجع، نیاز آبی، ضریب گیاهی ریحان، گلخانه.

مقدمه

بحران و کمبود منابع آب از مهم‌ترین چالش‌ها و مسائل پیش‌روی جوامع امروزی است که به عنوان یکی از عوامل محدود کننده توسعه پایدار شناخته می‌شود. بخش کشاورزی بزرگترین مصرف‌کننده منابع آب است به طوری‌که حدود ۷۰ درصد از منابع آب شیرین مصرفی جهان به این بخش تخصیص می‌یابد (WWAP, 2009). امروزه با توجه به افزایش روزافزون جمعیت جهان و کاهش منابع آب در دسترس، بهره‌گیری از تکنولوژی کشت در محیط کنترل شده گلخانه در حال گسترش است. در کشت‌های گلخانه‌ای کنترل عوامل و پارامترهای مهم اقلیمی شامل دما، رطوبت و تهویه نه تنها عملکرد گیاه و بهره‌وری آب را افزایش می‌دهد بلکه با ایجاد امکان کشت در خارج از فصل زراعی و در شرایط نامطلوب اقلیمی، بازده اقتصادی قابل توجهی برای کشاورزان فراهم می‌آورد (Algharibi *et al.*, 2013; Stanghellini, 2014). از این رو، انتقال محصولات آب‌بر مانند سبزی و صیفی به گلخانه‌ها راه‌کار مطمئنی است که در بسیاری از کشورهای پیشرفته انجام می‌گیرد (Stanghellini, 2014). در کشور ایران نیز سطح زیرکشت محصولات گلخانه‌ای تا پایان سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ به ترتیب برابر با ۶۴۳۱/۴ و ۱۱۳۲۴/۹ هکتار بوده که رشدی معادل ۵۶/۷۸ درصد داشته است. بررسی آمار اعلام شده توسط وزارت جهاد کشاورزی نشان می‌دهد به طور میانگین در حدود ۶۵/۵۱ درصد از کل سطح زیرکشت محصولات گلخانه‌ای به کاشت محصولات سبزی و صیفی اختصاص دارد (Ministry of Jihad-Agriculture, 2018).

ریحان (*Ocimum basilicum* L.) از جمله سبزی‌های برگی و معطر از خانواده نعناعیان است. این گیاه یکی از پرمصرف‌ترین نوع سبزی است که در ایران مصرف آن به صورت تازه‌خوری رواج دارد. هم‌چنین از ریحان به دلیل دارا بودن ترکیبات آنتی‌اکسیدان و اسانس در صنایع داروسازی، آرایشی و بهداشتی استفاده می‌شود (Ahmed *et al.*, 2014; Nguyen *et al.*, 2010). با توجه به روند رو به رشد کشت محصولات گلخانه‌ای به ویژه سبزی و صیفی، انجام تحقیقات در مورد بهره‌وری آب و تخمین دقیق نیاز آبی این محصولات ضروری است. بیشتر مطالعات انجام شده برای تعیین نیاز آبی گیاه ریحان، در شرایط کشت فضای باز و مزرعه بوده است. در حالی که کشت گلخانه‌ای در شرایط نامطلوب اقلیمی ارجح است و آگاهی از نیاز آبی این گیاه به منظور مصرف بهینه آب کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است.

نیاز آبی گیاهان (ET_c)، تابعی از تبخیر- تعرق گیاه مرجع

* نویسنده مسئول: h.rahimikhoob@ut.ac.ir

(ET_o) و ضریب گیاهی (K_c) است (Allen *et al.*, 1998). خصوصیات و شرایط اقلیمی در متغیر ET_o و مشخصه‌های گیاهی در ضریب K_c نهفته است. میزان ET_o از طریق روش‌های مستقیم و یا محاسباتی به دست می‌آید. در روش مستقیم، ET_o با استفاده از لایسیمترهای وزنی یا حجمی بر پایه‌ی اصول و معادلات بیلان آب در خاک تخمین زده می‌شود. ولی در روش‌های محاسباتی ET_o با استفاده متغیرهای اقلیمی به صورت غیرمستقیم به دست می‌آید. به طور کلی دقت برآورد ET_o از طریق روش مستقیم بیشتر از روش‌های غیرمستقیم است. از این رو، در کشت‌های کنترل شده با توجه به تفاوت در سیستم‌های کنترل اقلیمی، میزان تابش رسیده به سطح گیاه، نوع مصالح و پوشش به کار رفته در ساخت گلخانه‌ها، عوامل بسیاری بر میزان ET_o اثر گذار خواهد بود. در نتیجه برآورد ET_o از طریق اندازه‌گیری‌های لایسیمتری نسبت به روش‌های محاسباتی ارجح است.

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، علاوه بر متغیر ET_o، ضریب گیاهی (K_c) نیز از عوامل اثرگذار بر تعیین میزان نیاز آبی گیاه است. با توجه به اینکه شرایط اقلیمی علاوه بر عوامل دیگر از جمله نوع، واریته گیاه و تاریخ کشت باعث ایجاد تفاوت در مقادیر به دست آمده برای ضریب گیاهی خواهد شد، لازم است این ضریب به طور مستقیم برای شرایط خرد اقلیم گلخانه محاسبه گردد. در کشور کلمبیا تحقیقی برای تعیین K_c ریحان در شرایط گلخانه با استفاده از اندازه‌گیری های لایسیمتری انجام گرفته است. منحنی K_c ترسیم و مقادیر آن برای دوره‌های مختلف رشد در مدت ۷۱ روز محاسبه شده است. نتایج نشان داد میزان K_c برای مرحله ابتدایی رشد[۱]، رسیدگی[۲] و پیری[۳] به ترتیب برابر با ۰/۴۵، ۰/۵۹ و ۰/۴۲ می‌باشد (Daza-Torres *et al.*, 2017). در تحقیق دیگری تبخیر تعرق و ضریب گیاهی ریحان در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه تعیین شد. اندازه‌گیری‌ها به مدت ۴۵ روز و با استفاده از لایسیمتر انجام گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد مجموع ET_o و ET_c در کل دوره به ترتیب برابر با ۳۳۸/۵ و ۱۸۸/۴۵ میلی‌متر بود. همچنین K_c برای مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب برابر با ۰/۱۴، ۰/۵۲، ۰/۹۳ و ۰/۸۳ گزارش شد (Ebrahimi *et al.*, 2018). مطالعه‌ای دیگر با هدف اندازه‌گیری نیاز آبی و K_c ریحان با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار در شرایط کشت فضای باز در مزرعه تحقیقاتی کرمانشاه انجام گرفت. نیاز آبی گیاه ریحان در طول ۹۴ روز داده‌برداری برابر با ۶۳۶/۸ میلی متر بود. K_c برای مراحل ابتدایی، توسعه و میانی به ترتیب ۰/۷۱، ۱/۱۱ و ۱/۳۹ به دست آمد (Ghamarnia *et al.*, 2015). مقایسه نتایج تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد میزان ضریب K_c با توجه به شرایط محیط کشت متفاوت است و برای تخمین دقیق نیاز آبی لازم است این ضریب از طریق روش‌های اندازه‌گیری مستقیم محاسبه گردد.

هدف از انجام این تحقیق تعیین مقادیر ضریب گیاهی ریحان برای مراحل مختلف رشد و محاسبه نیاز آبی این گیاه با استفاده از اندازه‌گیری‌های لایسیمتری در شرایط کشت کنترل شده گلخانه بود.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در گلخانه پژوهشی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران واقع در کرج با عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی و با ارتفاع ۱۲۹۲/۹ متر از سطح دریا انجام شد. ابعاد سالن گلخانه مورد مطالعه ۲۰×۸ مترمربع، از نوع چند دهانه‌ای با دیواره‌های شیشه‌ای و پوشش سقف از جنس پلی‌کربنات بود. بمنظور تعدیل درجه حرارت محیط، گلخانه مجهز به سیستم پد و فن خودکار و حرارت مرکزی است. پارامترهای هواشناسی، شامل حداکثر و حداقل دمای روزانه، حداکثر و حداقل رطوبت نسبی و تابش طول موج کوتاه رسیده به داخل گلخانه به صورت روزانه برداشت گردید. سنجش متغیر دما و رطوبت با استفاده از سنسور دیجیتال مدل HTC-1 و متغیر تابش توسط دستگاه تابش سنج مدل TES-1333R انجام شد. اندازه‌گیری پارامترهای هواشناسی در گلخانه در ماه‌های تیر تا مرداد انجام گرفت. میانگین دما و رطوبت نسبی در طول دوره به ترتیب برابر با ۳۳/۴ درجه سانتی‌گراد و ۳۱/۳ درصد بود. تابش طول موج کوتاه توسط دستگاه تابش‌سنج به صورت تجمعی در ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد. میانگین میزان تابش طول موج کوتاه ثبت شده برابر با ۲۰/۹ مگاژول بر مترمربع بر روز بود. خاک مورد استفاده در این تحقیق، بافت لوم که در این منطقه بخش عمده‌ای از خاک بستر گلخانه‌ها را تشکیل می‌دهد، انتخاب شد. نتایج آنالیز خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک

ذرات تشکیل دهنده خاک			ظرفیت زراعی	نقطه پژمردگی	جرم مخصوص ظاهری	شوری عصاره اشباع	اسیدیته
رس (٪)	سیلت(٪)	شن(٪)	(درصد وزنی)	(درصد وزنی)	(گرم بر سانتی‌مترمکعب)	(دسی زیمنس بر متر)	(pH)
۲۰	۳۴	۴۶	۲۱/۲۴	۱۰/۳۶	۱/۳۳	۱/۴۶	۸/۱

۱ Initial stage
۲ Maturity stage
۳ Senescence stage

محاسبه تبخیر- تعرق گیاه مرجع توسط میکرولایسیمتر

در این تحقیق برای تعیین میزان ET_o از سه عدد میکرولایسیمتر وزنی استفاده شد. میکرولایسیمترها از جنس پلاستیک فشرده با قطر و ارتفاع ۲۱ سانتی‌متر تهیه گردید. در کف میکرولایسیمترها، شن درشت به ضخامت ۱/۵ سانتی‌متر برای تسهیل زهکشی ریخته شد. سپس میکرولایسیمترها با خاک مناسب زراعی پر و به منظور یکسان سازی توزین شدند. وزن میکرولایسیمترها در حدود ۵/۵ کیلوگرم با احتساب وزن خاک خشک و شن تثبیت شد.

برای تعیین تغییرات روزانه ET_o از میکرولایسیمتر چمن استفاده شد. کشت بذر چمن به طور یکنواخت و به مقدار ۱۵ گرم برای هر میکرولایسیمتر انجام گرفت. اندازه‌گیری‌های مربوط به محاسبه ET_o شامل اندازه‌گیری متغیرهای رابطه بیلان آب، پس از آنکه ارتفاع چمن به ۱۲ سانتی‌متر رسید، آغاز گردید. در طول دوره، ارتفاع چمن همواره بین ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر ثابت نگه داشته شد. برای جلوگیری از ایجاد تنش آبی، آبیاری به صورت روزانه انجام می‌گرفت. میزان آب زهکش شده از هر میکرولایسیمتر نیز در هر ۲۴ ساعت جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. تغییرات ذخیره رطوبتی خاک (ΔS)، از طریق توزین روزانه میکرولایسیمترها توسط ترازوی دیجیتال با دقت ۱± گرم به دست آمد. سپس از رابطه بیلان آب خاک زیر، ET_o گیاه چمن تخمین زده شد (Zeleke and Wade, 2012):

$$ET_o=I+P+U-R-D-\Delta S \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در رابطه فوق، ET_o تبخیر- تعرق مرجع، I عمق آبیاری، P میزان بارندگی،[۴] U جریان کاپیلاری از اعماق به سمت ریشه، R رواناب سطحی، D نفوذ عمقی و ΔS تغییرات ذخیره رطوبتی خاک هستند. در این رابطه تمام مقادیر بر حسب حجم آب در واحد سطح کشت بیان می‌شوند. در محیط کشت کنترل شده گلخانه، پارامترهای P، U و R برابر با صفر درنظر گرفته شده‌اند. ET_o روزانه از میانگین مقادیر به دست‌آمده از رابطه بیلان آب خاک برای هر میکرولایسیمتر محاسبه شد.

محاسبه تبخیر تعرق و ضریب گیاهی ریحان

تعیین دقیق نیاز آبی وابسته به برآورد صحیح میزان تبخیر- تعرق گیاه (ET_c) است. لایسیمترها به عنوان یک محیط کنترل شده برای اندازه‌گیری بیلان آب در خاک تحت شرایط مرزی مشخص تعریف شده اند (Liu *et al.*, 2017). برای محاسبه ET_c در تحقیقات گلخانه‌ای از آنجایی که سطح کشت در مقایسه با مزرعه وسیع نبوده و کنترل پارامترهای بیلان آب در خاک تجهیزات خاصی لازم ندارد، از میکرولایسیمتر به جای لایسیمترهای دقیق وزنی یا روش‌های دیگری مثل نسبت بوون و سنجش از دور استفاده می‌شود (Rana and Katerji, 2000; Shuttleworth, 2008).

در این تحقیق برای اندازه‌گیری ET_c گیاه ریحان از پنج عدد میکرولایسیمتر با خصوصیات مشابه با میکرولایسیمترهای چمن استفاده شد. بذر ریحان در عمق یک سانتی‌متری از سطح خاک کشت شد. سپس لایه نازکی از کوکوپیت برای جلوگیری از جابه‌جایی بذرها در حین آبیاری، روی سطح خاک ریخته شد. پس از جوانه زدن بذرها با انجام عملیات تنک‌کاری، تراکم کشت معادل ۲۵ عدد بوته در هر میکرولایسیمتر تثبیت شد (شکل ۱). در مرحله ابتدایی رشد، آبیاری بذرها توسط آبپاش انجام گرفت. پس از آن، عمق آب آبیاری بر اساس داده‌های به دست آمده از میکرولایسیمترها در طول دور کشت محاسبه شد. برای تعیین میزان آب آبیاری از روش وزنی استفاده شد. بدین ترتیب که ابتدا وزن هر میکرولایسیمتر در حالت ظرفیت زراعی مشخص گردید. تعیین حد ظرفیت زراعی برای هر میکرولایسمتر ابتدا از طریق اشباع نمودن کامل آن‌ها انجام گرفت. سپس بعد از گذشت ۴۸ ساعت و در بازه زمانی کوتاه مدت ۱۲ ساعته، زمانی که تغییر قابل توجهی در وزن میکرولایسیمترها مشاهده نشد، وزن هر یک به عنوان وزن میکرولایسیمتر در حالت ظرفیت زراعی ثبت گردید. سپس باتوجه به اطلاعات برداشت شده، میزان آب آبیاری برای هر میکرولایسیمتر از رابطه زیر محاسبه شد:

$$IW_i=W_{fci}-W_i \quad \text{(رابطه ۲)}$$

در رابطه فوق، IW_i میزان آب آبیاری برای میکرولایسیمتر iام (گرم)، W_{fci} وزن میکرولایسیمتر *i*م در حالت ظرفیت زراعی (گرم) و W_i وزن میکرولایسیمتر iام پیش از انجام آبیاری (گرم) می‌باشد. با توجه به اینکه میزان رطوبت میکرولایسیمترها همواره در حد ظرفیت زراعی تثبیت می‌شد، آب زهکشی وجود نداشت. از آن‌جایی که رشد گیاه منجر به افزایش وزن روزانه میکرولایسیمترها می‌شود، برای تعیین دقیق میزان آب آبیاری وزن بوته تر گیاه در فواصل مختلف اندازه‌گیری و از وزن کل میکرولایسمترها کم می‌گردید. سپس ضریب گیاهی در مراحل مختلف رشد با استفاده از رابطه زیر به دست آمد:

$$K_c=\frac{ET_c}{ET_o} \quad \text{(رابطه ۳)}$$

درصد پوشش گیاهی برای تعیین طول مراحل مختلف رشد گیاه با عکس‌برداری و آنالیز آن توسط برنامه (Patrignani and Ochsner, 2015) Canopeo به دست آمد.

[۴] Upward capillary rise

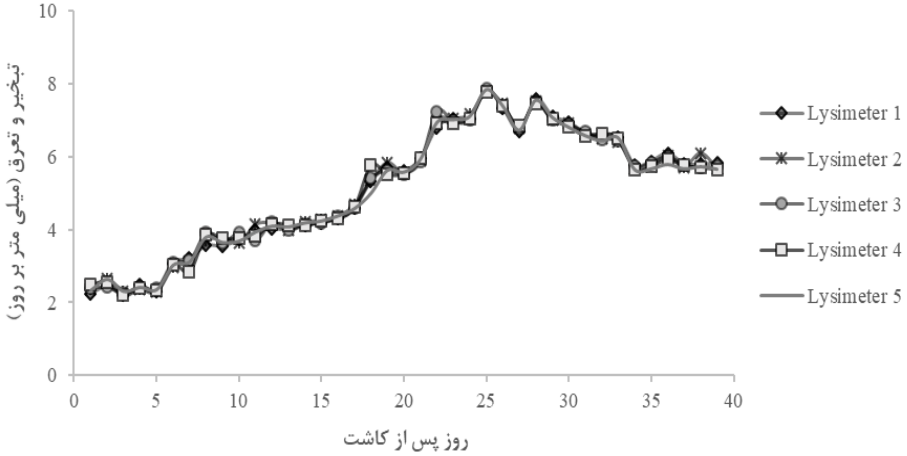
شکل ۱- تراکم کشت در میکرولایسیمتر ریحان

آنالیز آماری

بررسی یکسان بودن توزیع مقادیر ET_c به دست آمده بین میکرولایسیمترها با استفاده از نرم‌افزار SPSS25.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) انجام گرفت. با توجه به اینکه داده‌ها از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کنند و آزمون مقایسه بین بیش از دو گروه داده مستقل است، از آزمون کروسکال-والیس[5] استفاده گردید. فرض صفر در این آزمون مبنی بر یکسان بودن میانه‌ها و نبود تفاوت معنادار بین پنج تکرار (میکرولایسیمتر) می‌باشد.

نتایج و بحث

پیش از محاسبه K_c ابتدا مقادیر به دست آمده از اندازه‌گیری‌های میکرولایسیمتری برای متغیر ET_c از نظر آماری ($p<0.05$) بررسی شدند. نمودار میزان تبخیر- تعرق گیاه ریحان در طول دوره رشد برای برای هر پنج میکرولایسیمتر ترسیم شد (شکل ۲). نتایج آنالیز آماری نشان داد اختلاف معناداری بین آن‌ها وجود ندارد (Asymp. Sig. = 1). در نتیجه می‌توان با میانگین‌گیری از مقادیر ET_c، میزان نیاز آبی گیاه ریحان در گلخانه تحقیقاتی را محاسبه نمود.



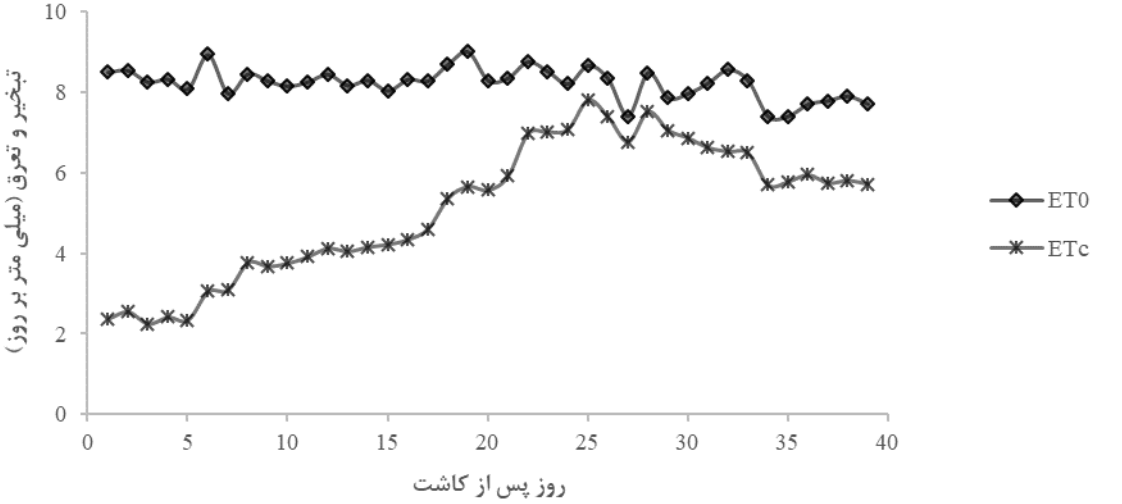
شکل ۲- روند تغییرات تبخیر- تعرق گیاه ریحان در طول دوره رشد برای هر پنج میکرولایسیمتر

متوسط میزان تبخیر- تعرق گیاه ریحان و مجموع آب مصرفی در طول دوره رشد به ترتیب برابر با ۵/۱۳ میلی‌متر بر روز و ۲۰۰/۰۵ میلی‌متر به دست آمد. هم‌چنین میانگین روزانه و مجموع میزان ET_o اندازه‌گیری شده توسط میکرولایسیمترهای چمن به ترتیب برابر با ۸/۲۳ میلی‌متر بر روز و ۳۲۱/۰۳ میلی‌متر به دست آمد. نمودار تغییرات ET_o و ET_c در شکل (۳) ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، روند تغییرات هر دو متغیر مشابه است. هرچند که مقادیر ET_o همواره از ET_c بیشتر است. بیشترین میزان ET_c در طول دوره رشد گیاه، در اواخر مرحله رشد و توسعه گیاه بود. همانطور که انتظار می‌رفت، با رشد و افزایش زیست توده گیاه، مصرف آب نیز افزایش داشته است. طی مرحله ابتدایی رشد (۶-۰ روز)، ET_o در حدود ۷۰ درصد بیشتر از ET_c است. در حالی که در مرحله میانی زمانی که گیاه بیشترین نیاز آبی را دارد، ET_o در حدود ۱۵ درصد از ET_c بیشتر است. مقادیر مشابه در تحقیقات انجام شده برای متوسط مقدار ET_c در گلخانه‌ای واقع در کشور کلمبیا (Daza-Torres *et al.*, 2017) و ایران (Ebrahimi *et al.*, 2018) به ترتیب به میزان ۳/۷۹ و ۴/۱۲ میلی‌متر بر روز گزارش شده است.

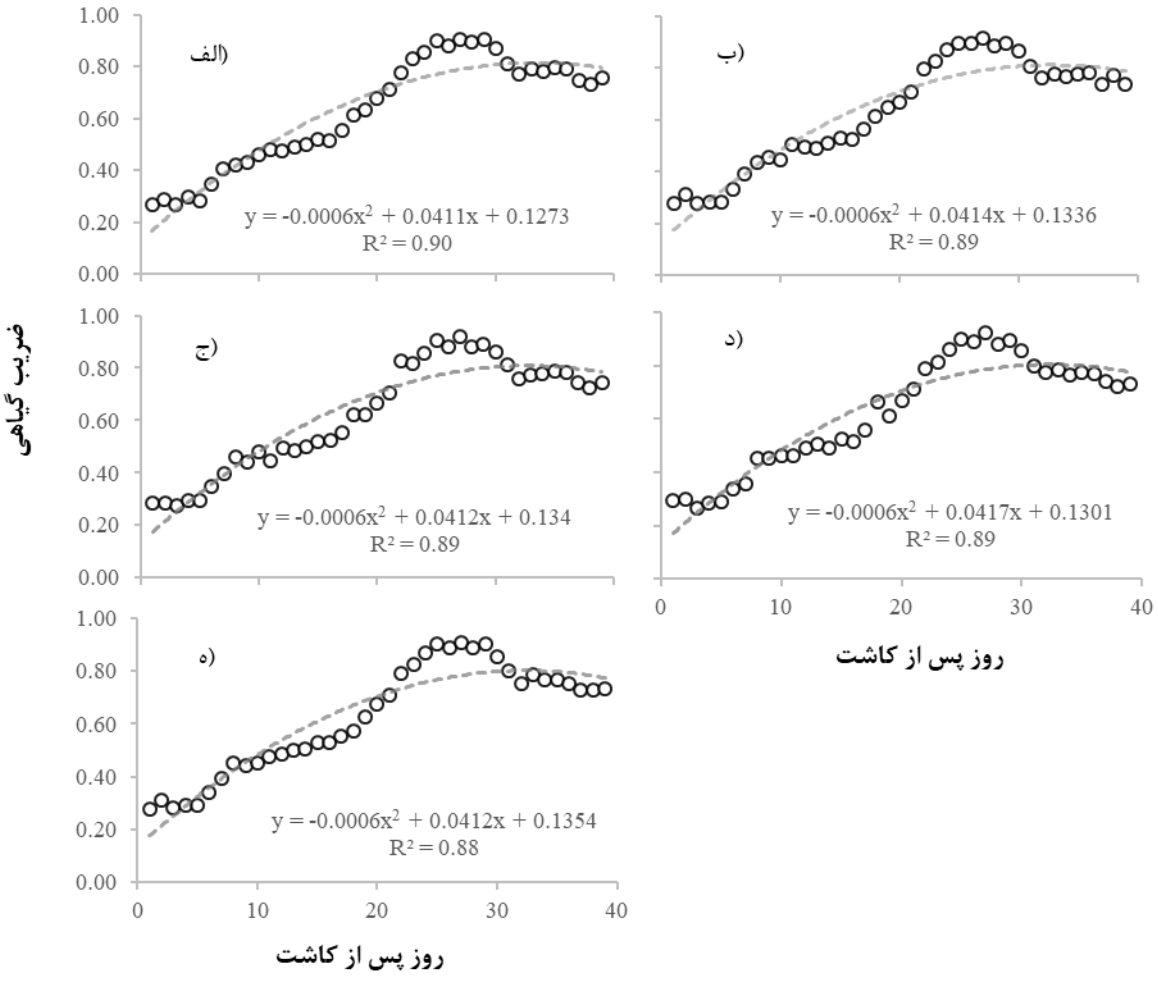
ضریب گیاهی ریحان طی مراحل مختلف رشد با استفاده از رابطه (۳) محاسبه شد. نمودار تغییرات K_c نیز برای هر میکرولایسیمتر جداگانه ترسیم گردید (شکل ۴). با توجه به شکل (۴) بهترین معادله برازش داده شده برای هر میکرولایسیمتر از تابع درجه دوم تبعیت می‌کند و ضریب تبیین به دست آمده برای میکرولایسیمترها بین ۰/۸۸ تا ۰/۹۰ است.

[5] *Kruskal-Wallis*

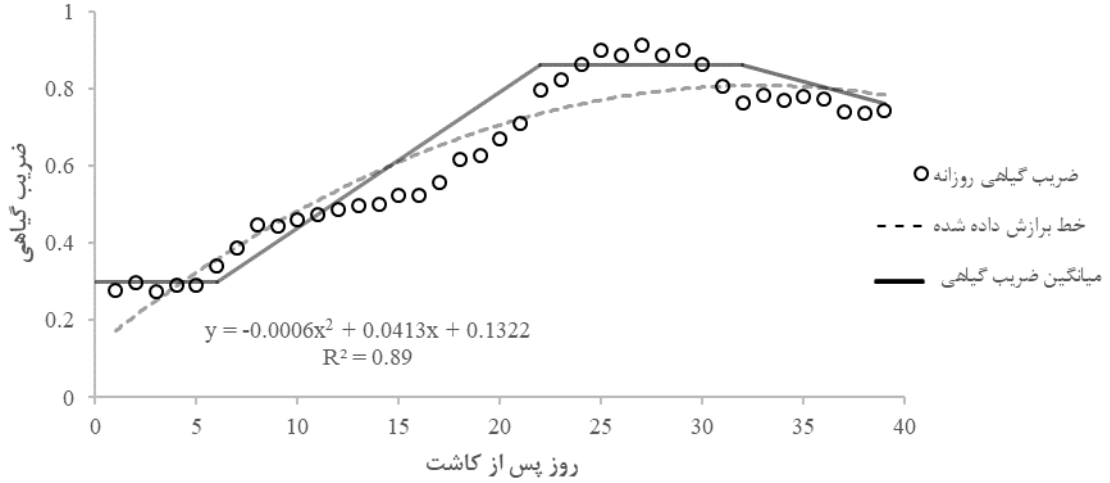
سپس از مقادیر به دست آمده برای متغیر K_c بین میکرولایسیمترها و در هر مرحله رشد میان‌گیری انجام شد. ضرایب گیاهی منطبق با مراحل رشد ریحان مطابق شکل (۵) محاسبه و نتایج نهایی در جدول (۲) آورده شده است.



شکل ۳- روند تغییرات تبخیر- تعرق گیاه مرجع اندازه‌گیری شده توسط میکرولایسیمتر و تبخیر- تعرق گیاه ریحان



شکل ۴- نمودار ضریب گیاهی ریحان برای الف) میکرولایسیمتر ۱ ب) میکرولایسیمتر ۲ ج) میکرولایسیمتر ۳ د) میکرولایسیمتر ۴ ه) میکرولایسیمتر ۵



شکل ۵- روند تغییرات میانگین ضریب گیاهی ریحان

جدول ۲- طول مراحل رشد و ضرایب گیاهی

مرحله رشد	طول دوره	ضریب گیاهی
ابتدایی	۶	۰/۳۰
میانی	۱۰	۰/۸۶
پایانی	۷	۰/۷۶

نتایج به دست آمده از این تحقیق با دیگر تحقیقات انجام شده برای هر دو شرایط کشت در فضای باز و مزرعه مورد مقایسه قرار گرفت. همانطور که در جدول (۳) آورده شده است، طول دوره رشد گیاه ریحان در شرایط کشت مزرعه بیشتر از گلخانه است. هم‌چنین بیشترین میزان ضریب گیاهی (ضریب گیاهی در دوره میانی) برای شرایط کشت مزرعه از گلخانه بیشتر است. علاوه بر این، مقایسه نتایج تحقیقات مختلف نشان می‌دهد، متوسط تبخیر- تعرق واقعی گیاه به طور میانگین به میزان ۷/۶۸ و ۴/۳۴ میلی‌متر بر روز به ترتیب برای کشت مزرعه و گلخانه به دست آمده است. مشاهده اختلاف در نتایج به دست آمده از تحقیقات مختلف را می‌توان به علت تفاوت در طول دوره رشد و شرایط اقلیمی بیان نمود. البته لازم به ذکر است اثر تراکم کشت بر نیاز آبی و ضریب گیاهی نیز غیرقابل انکار بوده و نیاز به بررسی بیشتر دارد. به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت، کشت گیاه ریحان در شرایط گلخانه در مقابل با کشت مزرعه توجیه پذیر است.

جدول ۳- مقایسه نتایج به دست آمده از تحقیقات انجام شده در زمینه برآورد نیاز آبی و ضریب گیاهی ریحان

منبع	شرایط کشت	متوسط تبخیر- تعرق واقعی (میلی‌متر)	طول دوره رشد (روز)	ضریب گیاهی		
				ابتدایی	میانی	پایانی
Ghamarnia *et al*., 2015	مزرعه	۶/۷۷	۹۴	۰/۷۱	۱/۳۹	-
Naderianfar, 2016	مزرعه	۸/۲۸	۱۱۰	۰/۴۸	۱/۱۱	۰/۹۵
Farahbakhsh *et al*., 2019	مزرعه	۷/۹۹	۹۱	۰/۶۳	۱/۱۲	۰/۹۷
Daza-Torres *et al*., 2017	گلخانه	۳/۷۹	۷۱	۰/۴۵	۰/۵۹	۰/۴۲
Ebrahimi *et al*., 2018	گلخانه	۴/۱۲	۴۵	۰/۱۴	۰/۹۳	۰/۸۳
تحقیق حاضر	گلخانه	۵/۱۳	۳۹	۰/۳۰	۰/۸۶	۰/۷۶

نتیجه‌گیری

با توجه به کمبود منابع آب در دسترس، کشت محصولات آب‌بر مانند سبزی در شرایط گلخانه از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق نیاز آبی و ضریب گیاهی ریحان در شرایط کشت کنترل شده گلخانه برآورد شد. نیاز آبی با استفاده از اطلاعات مستخرج از اندازه‌گیری‌های میکرولایسیمتری و روش بیلان آب در خاک به دست آمد. هم‌چنین به منظور محاسبه ضریب گیاهی تبخیر- تعرق گیاه مرجع نیز به طور مستقیم اندازه‌گیری شد. مجموع نیاز آبی گیاه ریحان در طول دوره رشد برابر با ۲۰۰/۰۵ میلی‌متر به دست آمد. بیشترین میزان نیاز آبی روزانه گیاه ریحان برابر با ۷/۸۱ میلی‌متر (۲۵ روز پس از کشت) در مرحله میانی بود. مقادیر ضریب گیاهی نیز برای مراحل ابتدایی، میانی و پایانی

به ترتیب برابر با ۰/۳۰، ۰/۸۶ و ۰/۷۶ محاسبه شد. با استفاده از نتایج این پژوهش و کاربرد مقادیر به دست آمده برای ضریب گیاهی ریحان، برنامه‌ریزی و مدیریت آبیاری در گلخانه‌های با شرایط مشابه از نظر سازه و اقلیم امکان‌پذیر خواهد شد. هم‌چنین از آنجایی که میزان تراکم کشت و مقادیر ضریب گیاهی با یکدیگر مرتبط هستند، پیشنهاد می‌شود اثر تراکم کشت‌های مختلف بر ضریب گیاهی ریحان در تحقیقات آتی بررسی گردد.

سپاسگزاری

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی (شماره ۹۶۰۱۳۰۷۳) با حمایت مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور اجرا گردیده است و نویسندگان از مساعدت‌های آنان تقدیر می‌نمایند.

REFERENCES

Ahmed, E. A., Hassan, E. A., Tobgy, K.M., Ramadan, E.M. (2014). Evaluation of rhizobacteria of some medicinal plants for plant growth promotion and biological control. *Annals of Agricultural Sciences*. 59 (2), 273–280.

Algharibi, E., Schmitz, G., Lennartz, F., Schutze, N., Grundmann, J. and Kloss, S. (2013). Evaluation of field and greenhouse experiments with tomatoes using the AquaCrop model as a basis for improving water productivity. *Assessment of Climate Change Impact on Water Resources in Serbia*. 560-576.

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. FAO, Rome.

Daza-Torres, M.C., Arias-Prado, P.C., Reyes-Trujillo, A., Urrutia-Cobo, N. (2017). Basil (Ocimum basilicum L) water needs calculated from the crop coefficient. *Ingeniería e Investigación*. 37(3): 08-16.

Ebrahimi M., Rezaverdinejad V., Besharat S., Abdi M. (2018). A study of evapotranspiration as well as crop coefficient in Ocimum basilicum L. growth process in greenhouse. *Water and Irrigation management*. 8(1):1-11. (In Farsi).

Farahbakhsh, M., Sarai Tabrizi, M. and Babazadeh H. (2019). Estimation of Basil Water Requirement for Effective Field Water Management. *Journal of Water Research in Agriculture*. 33(1). (In Farsi).

Ghamarnia H., Amirkhani D., Arji I. (2015). Basil (Ocimum basilicum L.) Water Use, Crop Coefficients and SIMDualKc Model Implementing in a Semi-arid Climate. *International Journal of Plant & Soil Science*. 4 (6): 535-545.

Liu, X.Y., Xu, C.Y., Zhong, X.L., Li, Y.Z., Yuan, X.H., Cao, J.F. (2017). Comparison of 16 models for reference crop evapotranspiration against weighing lysimeter measurement. *Agricultural water management*. 184: 145–155.

Ministry of Jihad-Agriculture (2018). *Greenhouse cultivation area in Iran*. Retrieved April 12, 2019, from https://horticulture.maj.ir.(In Farsi)

Naderianfar, M. (2016). Determination of Water-Yield Basil Function Under the Terms of Deficit Irrigation and Nano Fertilizer Application. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*.10(3): 365-376. (In Farsi).

Nguyen, P.M., Kwee, E.M., Niemeyer, E.D. (2010). Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (Ocimum basilicum L.) leaves. *Food Chemistry*. 123, 1235–1241.

Patrignani, A. and Ochsner, T.E. (2015). Canopeo: A Powerful New Tool for Measuring Fractional Green Canopy Cover. *Agronomy Journal*. 107(6): 2312-2320.

Rana, G. and Katerji, N. (2000) Measurement and Estimation of Actual Evapotranspiration in the Field under Mediterranean Climate: A Review. *European Journal of Agronomy*.13:125-153.

Shuttleworth, W.J. (2008). Evapotranspiration measurement methods. *Southwest Hydrology*. 7:22–23.

Stanghellini C. (2014). Horticultural Production in Greenhouses: Efficient Use of Water. *Acta horticulturae*. 1034: 25-32.

WWAP (2009). The 3rd United Nations World Water Development Report: water in a changing world. UNESCO and Earthscan. ISBN: 978-9-23104-095-5, 429 p.

Zeleke, K., and Wade, L. (2012). Evapotranspiration Estimation using Soil Water Balance, Weather and Crop Data. In A. Irmak (Ed.), *Evapotranspiration: Remote Sensing and Modeling* (1 ed). 41-58.