DOI: 10.22059/ijswr.2019.278320.668152 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۱، شماره ۲، اردیبهشت ۱۳۹۹ (ص ۴۶۷-۴۵۵)

Atmospheric Parameters Variation, Reference Crop Evapotranspiration and Basil Water Requirement in Novel Integrated System of Greenhouse and Saltwater Evaporative Pond

AHMAD AHMADINIK[1], ALI RAHIMIKHOOB[1*], SASAN ALINIAEIFARD[2]

1. Department of Irrigation and Drainage Engineering, Aburaihan Campus, University of Tehran,Pakdasht, Iran.
2. Assistance Professor, Department of Horticulture, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran.

(Received: Apr. 7, 2019- Revised: Sep. 2, 2019- Accepted: Sep. 17, 2019)

ABSTRACT

The seawater greenhouse system is a new technology that utilizes a desalination approach using saltwater to provide fresh water production and crop growth in arid areas. By controlling the atmospheric factors, this system increases relative humidity nearly up to saturation point and the amount of evapotranspiration in these conditions greatly decreases. Despite the capabilities of this system, there are limitations, such as the eclipse of evaporator and salt collection make it difficult to operate. Therefore, in this study, a new idea under the name of "Novel Integrated System of Greenhouse and Saltwater Evaporative Pond" is proposed for the first time in which the evaporator in saltwater greenhouse system has been replaced by the saltwater evaporative pond. In this study, after implementing the pilot project of this integrated systemin south east of Tehran, the atmospheric factors variations, reference crop evapotranspiration, plant water requirement, crop yield, and water use efficiency in basil cultivation were studied in this system. The results were compared to the results of open field as a control. Based on the obtained results, the priority impact of the open field atmospheric factors on atmospheric factors variations in integrated system were temperature, relative humidity, and sunshine parameters. According to the measured amounts of water requirements and crop yield in this study, the amount of water use efficiency in basil cultivation in the open field and greenhouse media of the proposed integrated system were 1.14 and 2.89 kg/m^3, respectively.

Keywords: Crop water requirement, Desalination, Greenhouse cultivation, Saltwater resources, Seawater greenhouse system.

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

تغییرات پارامترهای جوی، تبخیرتعرق گیاه مرجع و نیاز آبی ریحان در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور

احمد احمدی نیک[۱]، علی رحیمی خوب[۱*]، ساسان علی نیایی فرد[۲]

۱. گروه مهندسی آبیاری و زهکشی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

۲. گروه علوم باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۸/ ۱/ ۱۳۹۸- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۸/۶/۱۱- تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۶/۲۶)

چکیده

سیستم گلخانه آب شور فن‌آوری نوینی است که با بهره‌گیری از راهکار نمک‌زدایی، امکان تولید آب شیرین و رشد محصول در مناطق خشک را با استفاده از آب شور فراهم می‌سازد. این سیستم با کنترل عوامل جوی، رطوبت‌نسبی را تا نزدیکی نقطه اشباع افزایش داده و تبخیرتعرق در این شرایط تا حد زیادی کاهش می‌یابد. علی‌رغم قابلیت‌های این سیستم، محدودیت‌هایی مانند گرفتگی صفحات تبخیرکننده و استحصال نمک، کارآیی این سیستم را با مشکل مواجه می‌سازد. از این‌رو در این مطالعه، ایده جدیدی تحت عنوان سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور، برای اولین بار مطرح می‌گردد که حوضچه تبخیر آب شور جایگزین صفحات تبخیرکننده در گلخانه آب شور شده است. در این مطالعه پس از اجرای طرح پایلوت این سیستم یکپارچه در جنوب شرق تهران، تغییرات عوامل جوی، تبخیرتعرق مرجع، نیاز آبی گیاه، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب در کشت محصول ریحان در این سیستم مورد مطالعه قرار گرفت و با نتایج کشت در فضای باز به عنوان شاهد مقایسه گردید. بر اساس نتایج، اولویت تأثیرگذاری عوامل جوی در فضای باز بر تغییرات پارامترهای جوی در سیستم یکپارچه به‌ترتیب شامل تأثیر دما، رطوبت‌نسبی و ساعات آفتابی بود. با توجه به اندازه‌گیری مقادیر نیاز آبی و عملکرد محصول در این مطالعه، مقدار کارایی مصرف آب در کشت محصول ریحان در فضای باز و محیط کشت گلخانه‌ای سیستم یکپارچه پیشنهادی به ترتیب معادل ۱/۱۴ و ۲/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه گردید.

واژه‌های کلیدی: نمک‌زدایی، سیستم گلخانه آب شور، نیاز آبی گیاه، کشت‌های گلخانه‌ای، منابع آب شور.

مقدمه

یکی از دغدغه‌های عصر حاضر، معضل تأمین مواد غذایی بیشتر جهت تغذیه جمعیت رو به رشد جهان است که نیل به این هدف مستلزم گسترش زمین‌های کشاورزی و بسترهای کشت است. در این راستا سازمان خوار و بار جهانی (FAO) برآورد می‌کند با توجه به تقاضای جهانی غذا در سال ۲۰۵۰، برداشت آب جهت آبیاری می‌بایست حدود ۱۱ درصد افزایش یابد (FAO, 2009). از آنجایی که منابع آب شیرین موجود به تنهایی جوابگوی نیازهای فعلی و آینده آبیاری محصولات در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک نمی‌باشند، لزوم بکارگیری استراتژی‌های جدید جهت حفظ یا افزایش تولید محصولات کشاورزی آبی، از جمله منابع آب جدید یا جایگزین و اقدامات حفاظتی آب به وضوح احساس می‌گردد (Levidow *et al.*, 2014). نمک‌زدایی[۱] آب شور، راهکاری امیدوارکننده جهت تأمین امنیت غذایی در درازمدت و ثبات اقتصادی و اجتماعی در این مناطق می‌باشد. نمک‌زدایی آب شور یک منبع آب جایگزین پایدار ارائه می‌دهد که با حذف محدودیت-های هواشناسی و هیدرولوژیکی (دمای بالا، تابش خورشیدی زیاد، تبخیر بالا و ...)، امکان کشاورزی آبی پایدار را فراهم می‌سازد (Feitelson and Rosenthal, 2012).

در زمینه کشت‌های گلخانه‌ای، سیستم گلخانه آب شور[۲] نوعی فن‌آوری منحصر به فرد است که با بهره‌گیری از راهکار نمک‌زدایی و فرآیندهای مرطوب‌سازی، خنک‌سازی و رطوبت‌زدایی هوا در یک ساختار یکپارچه، امکان رشد گیاهان در مناطق خشک و همچنین تولید آب شیرین با استفاده از آب شور را فراهم می‌سازد. این ایده، چرخه هیدرولوژیکی آب در طبیعت را در محیطی کنترل‌شده بازسازی می‌نماید و بخشی از انرژی مورد نیاز خود را از منابع تجدیدپذیر تأمین می‌نماید. طرح پایلوت و نمونه اولیه این سیستم در مناطق خشک و نیمه‌خشک مختلفی

* نویسنده مسئول: akhob@ut.ac.ir

1. Desalination
2. Seawater Greenhouse

همچون مسقط عمان، الجزایر، امارات متحده عربی، جزایر قناری و ... اجرا شده و مورد مطالعه و ارزیابی قرار گرفته است (Seppanen, 2000; Goosen *et al*., 2001; Goosen *et al*., 2003; Sablani *et al*., 2003; Mahmoudi *et al*., 2007; Yetilmezsoy and Abdul-Wahab, 2014).

چرخه آب در سیستم گلخانه آب شور به‌گونه‌ای است که در ابتدا آب شور روی صفحات تبخیرکننده[1] (پد یا پوشال) ریخته می‌شود و با عبور جریان هوا از آن، آب شور تبخیر شده و توده هوای مرطوب توسط سیستم‌های تهویه به درون گلخانه هدایت می‌گردد. این هوای سرد و مرطوب پس از عبور از منطقه کشت گیاه و افزایش تدریجی دمای آن، به تقطیرکننده[2] منتقل می‌شود و هوای مرطوب در آن متراکم شده و ذرات بخار آب موجود در آن تبدیل به مایع می‌شوند و به سمت مخزن آب شیرین هدایت می‌شوند. آب شیرین ذخیره شده در مخزن، این قابلیت را فراهم می‌آورد تا هم برای شرب و صنعت استفاده شود و یا اینکه با اختلاط متناسبی با آب شور، مقدار آن افزایش یافته و با کیفیت مناسبی جهت تأمین نیاز آبی محصولات تحت کشت در گلخانه مورد استفاده قرار گیرد (Sablani *et al*., 2003). با توجه به کارکرد سیستم گلخانه آب شور در کنترل عوامل جوی، رطوبت‌نسبی تا نزدیکی نقطه اشباع افزایش می‌یابد (Davies and Paton, 2004). کنترل شرایط جوی در این سیستم، محیطی برای کشت محصولات مهیا می‌کند که توانایی کاهش تبخیرتعرق محصول را نسبت به فضای روباز و گلخانه‌های متعارف دارا می‌باشد (Davies and Paton, 2005; Al-Ismaili and Jayasuriya, 2016).

مطالعات مختلفی روی عملکرد و فرآیندهای موجود در سیستم گلخانه آب شور صورت پذیرفته است. Goosen *et al*. (2003) به بررسی تأثیر پارامترهای مؤثر بر فرآیند نمک‌زدایی در گلخانه آب شور پرداختند و یک مدل ترمودینامیکی بر پایه بیلان جرمی و حرارتی برای آن توسعه دادند. Sablani *et al*. (2003) نیز در شبیه‌سازی ترمودینامیکی مطالعه خود روی فرآیند نمک‌زدایی در گلخانه‌های آب شور، نتیجه گرفتند که ابعاد گلخانه بیشترین تأثیر را بر تولید آب و مصرف انرژی دارد. Mahmoudi *et al*. (2008) در مطالعه خود امکان استفاده از انرژی‌های ترکیبی باد و خورشیدی را در تأمین نیازهای انرژی گلخانه آب شور مورد بررسی قرار دادند. Tahri *et al*. (2009) به شبیه‌سازی فرآیند فیزیکی تراکم هوای مرطوب در تقطیرکننده گلخانه آب شور در مسقط عمان پرداختند. Mahmoudi *et al*. (2010) با مطالعه روی سیستم تقطیرکننده گلخانه آب شور، یک مدل ریاضی به منظور بهبود عملکرد نمک‌زدایی این سیستم در زمینه مرطوب‌سازی-رطوبت‌زدایی توسعه دادند تا ظرفیت تولید آب شیرین افزایش داده شود.

Tahri *et al*. (2013) در مطالعه‌ای در مسقط عمان، با بررسی اثرات رطوبت‌نسبی، دما، درجه حرارت آب شور، سرعت هوای مرطوب و تابش خورشیدی بر مقدار آب شیرین تولیدی در گلخانه آب شور، مدلی ریاضی بر مبنای بیلان جرمی و حرارتی توسعه دادند. Zamen *et al*. (2013) طرح جدیدی از یک سیستم یکپارچه با استفاده از یک رطوبت‌ساز مستقیم به جای تقطیرکننده‌های غیرمستقیم و استفاده از سیستم آب گرمکن خورشیدی به‌منظور بهبود عملکرد تولید آب شیرین از آب دریا در گلخانه آب شور را پیشنهاد دادند. Yetilmezsoy and Abdul-Wahab (2014) به آنالیز محاسباتی جهت برآورد پارامترهای ورودی شامل رطوبت‌نسبی هوای خشک، دمای هوا، دمای آب شور، جریان جرمی هوای مرطوب و جریان جرمی آب شور پرداختند و مدلی تجربی بر پایه روش تابع تناسب ترکیبی برای برآورد میزان جریان تقطیری جرمی در گلخانه آب شور توسعه دادند. Al-Ismaili *et al*. (2016) به مطالعات جامع با تمرکز در زمینه بررسی جنبه‌های اقتصادی گلخانه آب شور پرداختند. هدف از این تحقیق، بررسی دلایل موفقیت اجرای گلخانه آب شور واقع در عمان به عنوان مطالعه موردی بود.

Heck *et al*. (2017) با یک رویکرد تحلیل چند معیاره به ارزیابی اولویت گروه‌های ذینفع برای کشت محصول با آب دریا توسط نمک‌زدایی پرداخته و بر نیاز به حفاظت یکپارچه زمین و دریا تأکید نمودند. Ming *et al*. (2017) در طرح خود به منظور مرطوب‌سازی از اسپری قطرات آب جهت تبخیر در انتهای تبخیرکننده‌ها به جای نصب توربین استفاده کردند. نتایج این مطالعه بهبود و افزایش رطوبت‌نسبی هوا و در نتیجه بهبود کارایی سیستم نمک‌زدایی بود. Alvarez *et al*. (2017) در مطالعه‌ای در جنوب شرقی اسپانیا، با یک دیدگاه تحلیلی و یکپارچه به شناسایی نقاط قوت و محدودیت‌های راهکار نمک‌زدایی به‌عنوان یک منبع تأمین آب برای آبیاری محصولات پرداختند و علی‌رغم اشاره به مزایای سیستم گلخانه آب شور، به‌منظور پایداری توسعه این سیستم، مباحث و دغدغه‌های کلیدی مرتبط با آن را مورد بررسی قرار دادند. Akinaga *et al*. (2018) مطالعه‌ای در زمینه استفاده از آب‌های شور برای خنک‌سازی و تولید نمک در گلخانه‌های آب شور انجام دادند. در این پژوهش مبحث تولید نمک

1. Evaporator

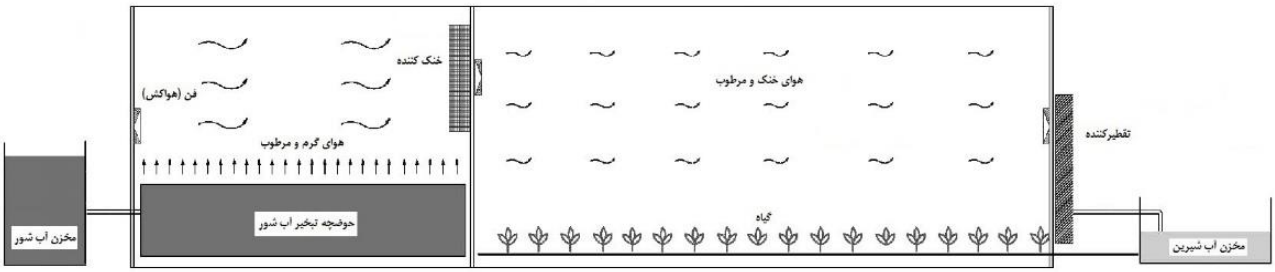
2. Condenser

حاصل از فرآیندهای گلخانه آب شور و کشت گیاهان با ارزش، مورد بررسی قرار گرفت.

علی‌رغم مزایای کلی سیستم گلخانه آب شور، بهره‌برداری از این سیستم با مشکلات خاصی همراه است. در این سیستم، املاح و نمک‌های موجود در آب شور پس از تبخیر، روی صفحات تبخیرکننده بجای مانده و موجب گرفتگی و مسدود شدن منافذ آن‌ها و در نتیجه از کار افتادگی، کاهش پتانسیل تبخیرکنندگی و تحمیل هزینه اضافی در دوران بهره‌برداری خواهد گردید (Ming *et al*., 2017). از سویی دیگر در چرخش آب شور در این سیستم، نیاز به تجهیزاتی از قبیل پمپ، لوله و ... است که مستلزم صرف هزینه و انرژی هستند. همچنین استفاده از تجهیزات فن و پد جهت تبخیر آب شور در سیستم گلخانه آب شور، استحصال نمک در این سیستم که می‌تواند بازدهی اقتصادی این سیستم را افزایش دهد را غیرممکن خواهد ساخت. اهمیت این موضوع به حدی است که در سال‌های اخیر مطالعاتی با هدف رفع این مشکل و ارائه راهکارهای کاربردی به منظور استحصال نمک در این سیستم صورت پذیرفته است (Akinaga *et al*., 2018).

با توجه به مطالب مذکور در زمینه برخی از مشکلات و محدودیت‌های سیستم گلخانه آب شور، سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور[1] ایده نوینی است که طرح آن برای اولین بار در این مطالعه پایه‌ریزی و مطرح شده است. این سیستم از مکانیسمی استفاده می‌نماید که با ساختاری ساده، با اهداف سیستم گلخانه آب شور هم‌راستا بوده و می‌تواند بسیاری از محدودیت‌های آن از قبیل گرفتگی صفحات تبخیرکننده، مصرف انرژی و استحصال نمک را مرتفع نماید. این سیستم پیشنهادی با ساختاری ساده، قابلیت توسعه کشت‌های گلخانه‌ای با استفاده از منابع آب نامتعارف (آب دریا، زه‌آب کشاورزی و ...) در مناطقی که دسترسی به منابع آب شیرین ندارند را فراهم می‌سازد.

همانگونه که در شکل (۱) مشاهده می‌شود در این سیستم حوضچه تبخیر آب شور جایگزین صفحات تبخیرکننده در سیستم گلخانه آب شور شده و فرآیند تبخیر آب شور در حوضچه، توسط به دام انداختن انرژی تابشی خورشید صورت می‌پذیرد. رطوبت هوای داخل محفظه بالای حوضچه زیاد شده و توسط سیستم تهویه هوا (فن یا هواکش) به داخل گلخانه منتقل می‌گردد.



شکل ۱- ساختار و اجزای سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور

مطابق با مطالب بیان شده، یکی از بخش‌های اصلی این سیستم، حوضچه تبخیر آب شور بوده و فرآیند تبخیر در آن با بهره‌گیری از انرژی تابشی خورشید صورت می‌پذیرد که در تلفیق آن در ساختار کلی این سیستم، از نتایج مطالعات پیشین استفاده گردیده است. در زمینه مخازن خورشیدی و حوضچه‌های تبخیر آب شور، Ahmadinik and Rahimikhoob (2014b) در مطالعه‌ای به تشریح سیستم آبیاری تراکمی و پتانسیل مخازن خورشیدی جهت تولید آب شیرین از آب‌های شور توسط راهکار نمک‌زدایی پرداختند. بر اساس نتایج حاصل از طرح پایلوت این سیستم، ماکزیمم تبخیر روزانه در این سیستم حدود ۸/۵ میلی‌متر در روز و حداکثر تبخیر ماهانه بالغ بر ۲۰۰ میلی‌متر گزارش گردید. Ahmadinik and Rahimikhoob (2014a) مدلی تجربی به‌منظور برآورد تبخیر از مخازن خورشیدی با استفاده از پارامترهای جوی تدوین و ارائه نمودند. Ahmadinik and Rahimikhoob (2015) به اصلاح جزء تابش مدل پنمن و مدل پریستلی- تیلور جهت برآورد تبخیر از مخازن خورشیدی پرداختند و دریافتند که مدل اصلاح شده پنمن قادر است تبخیر از مخازن خورشیدی را با ضریب تبیین بالاتری (۰/۹۵) برآورد نماید. Ahmadinik and Rahimikhoob (2016b) به بررسی تأثیر عوامل جوی و پارامتر سطح پایه مخزن بر پتانسیل تبخیری مخازن خورشیدی در یک دوره آماری یکساله پرداختند. نتایج این تحقیق گویای همبستگی بالای پتانسیل تبخیری مخازن با عوامل جوی و افزایش آن با

1. Novel Integrated System of Greenhouse and Saltwater Evaporative Pond

کاهش سطح مخزن بود. Ahmadinik and Rahimikhoob (2016a) در مطالعه خود میزان تبخیر از مخازن خورشیدی و نیاز آبی گیاه ذرت دانه‌ای در مراحل مختلف رشد را مورد مقایسه قرار دادند و دریافتند که میزان تبخیر از مخزن خورشیدی در تمامی دوره‌های رشد، بیشتر از نیاز آب این گیاه می‌باشد.

اساساً با توجه به تفاوت شرایط کشت در فضای باز که کنترل عوامل جوی در اختیار طبیعت است و شرایط کشت در محیط‌های بسته مانند گلخانه‌های متعارف، سیستم گلخانه آب شور و سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور که بسته به نیاز و اهداف آن‌ها، شرایط جوی خاصی (مانند رطوبت‌نسبی بالا) تعریف و تعیین می‌گردد، مقدار تبخیرتعرق گیاه تحت تأثیر قرار خواهد گرفت (Entesari *et al.*, 2008). تعیین دقیق مقدار آبی که برای تبخیرتعرق محصول مصرف می‌شود، از عوامل اساسی در برنامه‌ریزی آبیاری برای رسیدن به محصول بیشتر است. از این‌رو مطالعات متعددی در این زمینه صورت پذیرفته است. Chatrenour *et al.* (2012) در مطالعه‌ای با هدف اندازه‌گیری نیاز آبی محصول ریحان در فضای باز، تبخیرتعرق گیاه ریحان برای ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست را به‌ترتیب ۵/۴۹، ۷/۴۳ و ۹/۳۱ میلی‌متر در روز گزارش نمودند. Hamzezadeh *et al.* (2011) در مطالعه خود در گلخانه دانشگاه کردستان، عملکرد بیشینه را در تبخیرتعرق معادل ۳۷۶ میلی‌متر گزارش نمودند. Naderianfar (2016) در مطالعه‌ای در فضای روباز دریافتند که میزان متوسط تبخیرتعرق این گیاه در ابتدای دوره رشد ۳/۳۸ و در دوره میانی ۸/۶۰ میلی‌متر در روز می‌باشد. Ebrahimi *et al.* (2018) در مطالعه‌ای در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه، مجموع نیاز آبی محصول ریحان را حدود ۱۸۸/۴۵ میلی‌متر گزارش نمودند.

با توجه به اینکه سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور ایده جدیدی است که طرح آن برای اولین بار در این مطالعه پایه‌ریزی و مطرح گردیده است، بررسی نیاز آبی و عملکرد محصول در این سیستم، امری ضروری می‌باشد. بر این اساس در مطالعه حاضر به ارزیابی شرایط جوی، تبخیرتعرق، نیاز آبی، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب در کشت محصول ریحان در این سیستم پرداخته شده است و نتایج آن با نتایج متناظر کشت در فضای باز به عنوان شاهد مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

همان گونه که بیان گردید سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور ایده جدیدی است که تئوری آن برای اولین بار در این مطالعه ارائه شده است. از این‌رو جهت دستیابی به اهداف مطالعات، مطابق شکل (۱) نسبت به احداث و پایش طرح پایلوت این سیستم، در محل مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران واقع در جنوب شرق تهران، اقدام گردید. این منطقه با موقعیت جغرافیایی ´۴۱ °۵۱ طول شرقی و ´۲۸ °۳۵ عرض شمالی و ارتفاع ۱۰۲۰ متری از سطح دریا، یکی از مهم‌ترین مناطق کشاورزی جنوب شرق تهران است و با متوسط بارندگی ۲۳۰ و تبخیر ۱۳۹۰ میلیمتر در سال، جزء مناطق اقلیمی نیمه‌خشک محسوب می‌شود.

در طرح پایلوت این سیستم، ساختار گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور با اسکلت فلزی احداث گردید و سطح آن‌ها توسط نایلون پوشش داده شد. بر خلاف سیستم گلخانه آب شور که از اجزای فن و پد (پوشال) جهت مرطوب‌سازی هوا استفاده می‌گردد، در سیستم یکپارچه پیشنهادی، تبخیر آب شور در حوضچه صورت می‌پذیرد. در تعیین نسبت ابعاد حوضچه به گلخانه، از نتایج مطالعات پیشین (Ahmadinik and Rahimikhoob, 2014a, 2014b, 2015, 2016a, 2016b) در زمینه پتانسیل تبخیری مخازن خورشیدی و حوضچه‌های تبخیری آب شور استفاده گردید. در جدول (۱) مشخصات ابعادی اجزای طرح پایلوت این سیستم ارائه شده است. همچنین با توجه به ماهیت سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور جهت کاربرد در مناطق دارای منابع آب‌های نامتعارف شامل آب دریا، زه‌آب کشاورزی و ...، در مطالعه حاضر از منبع آب شور موجود در مزرعه تحقیقاتی قزلاق پردیس ابوریحان، جهت تبخیر در حوضچه آب شور استفاده گردید تا نتایج مطالعه با شرایط واقعی مطابقت داشته باشد.

جدول ۱- مشخصات ابعادی اجزای طرح پایلوت سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور

اجزای سیستم	ابعاد			
	طول (متر)	عرض دهانه (متر)	ارتفاع از کف تا نقطه عطف قوس سقف (متر)	سطح (مترمربع)
گلخانه	۴	۲	۳	۸
حوضچه	۱	۲	۳	۲

انتخاب الگوی کشت در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه آب شور با توجه به شرایط جوی خاص موجود در آن (رطوبت بالا) از اهمیت بالایی برخوردار است. در این راستا با توجه به خصوصیات مورفولوژیکی و فیزیولوژیکی مطلوب گیاه ریحان که از گیاهان رطوبت‌دوست بوده و تطابق مناسبی با شرایط جوی موجود در این سیستم داشت، استفاده شد. گیاه ریحان (O. bacilicum L.) رقم کشکنی لولو (keshkeni luvelou) که یکی از گیاهان مهم متعلق به تیره نعناع (Lamiaceae) بوده و دارای کاربرد دارویی، ادویه‌ای و خوراکی است به عنوان محصول پیشنهادی در این تحقیق، در نظر گرفته شد. این گیاه، روزبلند و حساس به سرما می‌باشد و به خوبی در خاک‌های مرطوب با زهکشی مناسب و در نور کامل خورشید و هوای گرم رشد می‌کند و در خاک با بافت متوسط با مقادیر فراوان ترکیبات هوموسی، رشد خوبی دارد (Omidbaigi, 1997).

در مطالعه حاضر در ابتدا بذر ریحان در سینی کشت کاشته شد و پس از جوانه‌زنی و سبز شدن، عملیات تنک‌کاری بوته‌ها در طی چند مرحله صورت پذیرفت. پس از رشد اولیه محصول و چهار تا شش برگی‌شدن گیاه، نسبت به آماده‌سازی گلدان‌ها اقدام شد و بوته‌های ریحان به داخل گلدان‌ها منتقل گردیدند. لازم به ذکر است کشت بوته‌های ریحان در فضای باز نیز به عنوان شاهد، همزمان با کاشت آن‌ها در گلدان صورت پذیرفت و در دوره مطالعاتی طرح، نسبت به پایش و اندازه‌گیری پارامترهای متناظر در این محیط اقدام گردید. همچنین به منظور تعیین تبخیرتعرق گیاه مرجع در داخل سیستم یکپارچه، از گیاه چمن که در گلدان‌های مشابه کشت شده بود به‌عنوان گیاه مرجع استفاده گردید. ارتفاع گیاه چمن در دوره کشت با هرس روزانه در حد استاندارد (۱۲ سانتی‌متر) ثابت نگه داشته شد و دور آبیاری ثابت و به صورت روزانه اعمال شد تا اینکه شرایط مناسب و بدون تنش برای تبخیرتعرق آن مهیا گردد. گلدان‌های پلاستیکی مورد استفاده در مطالعه، دارای ارتفاع ۱۵ و قطر دهانه ۲۲ سانتی‌متر بودند.

بستر کشت محصول در گلخانه، خاک مزرعه تحقیقاتی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران با بافت سیلتی لوم بود که با نسبت ترکیب مناسب با ماسه، کود حیوانی و مواد آلی مخلوط گردید. به منظور برنامه‌ریزی آبیاری، تعیین نقطه رطوبتی حد ظرفیت زراعی (FC) و حد نقطه پژمردگی (PWP) خاک مذکور با روش دستگاه صفحات فشاری و استفاده از گیاه آفتابگردان صورت پذیرفت. در جدول (۲) خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در مطالعه ارائه گردیده است.

جدول ۲- مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده در مطالعه

بافت خاک	رطوبت حجمی ظرفیت مزرعه (%)	رطوبت حجمی نقطه پژمردگی (%)	جرم ویژه ظاهری خاک خشک (gr/cm^3)	رطوبت حجمی اشباع (%)
سیلتی لوم	۱۸/۱۲	۸/۳۷	۱/۳۶	۴۴/۶۴

عملیات آبیاری در این مطالعه با هدف تأمین نیاز آبی کامل و به صورت روزانه صورت پذیرفت. همچنین به منظور تعیین تبخیرتعرق و نیاز آبی محصول به صورت روزانه از روش وزنی توسط میکرولایسیمتر استفاده گردید. در طول مراحل رشد، وزن گلدان‌ها در پایان هر روز اندازه‌گیری گردید و تأمین رطوبت خاک درون گلدان‌ها تا حد رطوبت ظرفیت زراعی مدنظر قرار گرفت، به‌گونه‌ای که زهابی از ته گلدان‌ها خارج نمی‌شد و مقدار کمبود رطوبت خاک در پایان هر روز، نسبت به حد ظرفیت زراعی در هر گلدان، به عنوان نیاز آبی محصول و مبنای برنامه‌ریزی آبیاری قرار گرفت. لازم به ذکر است با توجه به اینکه حجم آبیاری گلدان‌ها به اندازه نیاز آبی گیاه در نظر گرفته شد و خاک مورد استفاده از لحاظ شوری مشکلی نداشت، در این مطالعه، از مقدار نیاز آبشویی جهت شستشوی املاح صرف نظر گردید. در جدول (۳) مشخصات کیفی آب مورد استفاده جهت آبیاری محصول که از منبع آب چاه مزرعه تحقیقاتی گروه آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان بوده است ارائه گردیده است.

جدول ۳- مشخصات کیفی آب مورد استفاده جهت آبیاری محصول

EC (dS/m)	pH	Na (meq/lit)	Ca+Mg (meq/lit)	SAR
۱/۱	۷/۲	۲/۹	۱۶	۱/۰۲

کاشت گیاه ریحان در محیط کشت گلخانه‌ای طرح پایلوت در اواسط شهریورماه و برداشت آن در اوایل آبان‌ماه صورت پذیرفت. دوره پژوهشی این مطالعه از زمان انتقال بوته‌های گیاه ریحان به گلدان تا زمان برداشت محصول (از تاریخ ۱۳۹۷/۰۷/۰۵ تا ۱۳۹۷/۰۸/۰۵) در نظر گرفته شد. کشت محصول ریحان در فضای باز نیز، به عنوان شاهد، همزمان با کشت محصول در سیستم یکپارچه پیشنهادی مدنظر قرار گرفت. در جدول (۴) مشخصات و تقویم زراعی محصول مورد مطالعه ارائه شده است.

جدول ۴- تقویم زراعی محصول ریحان در مطالعه

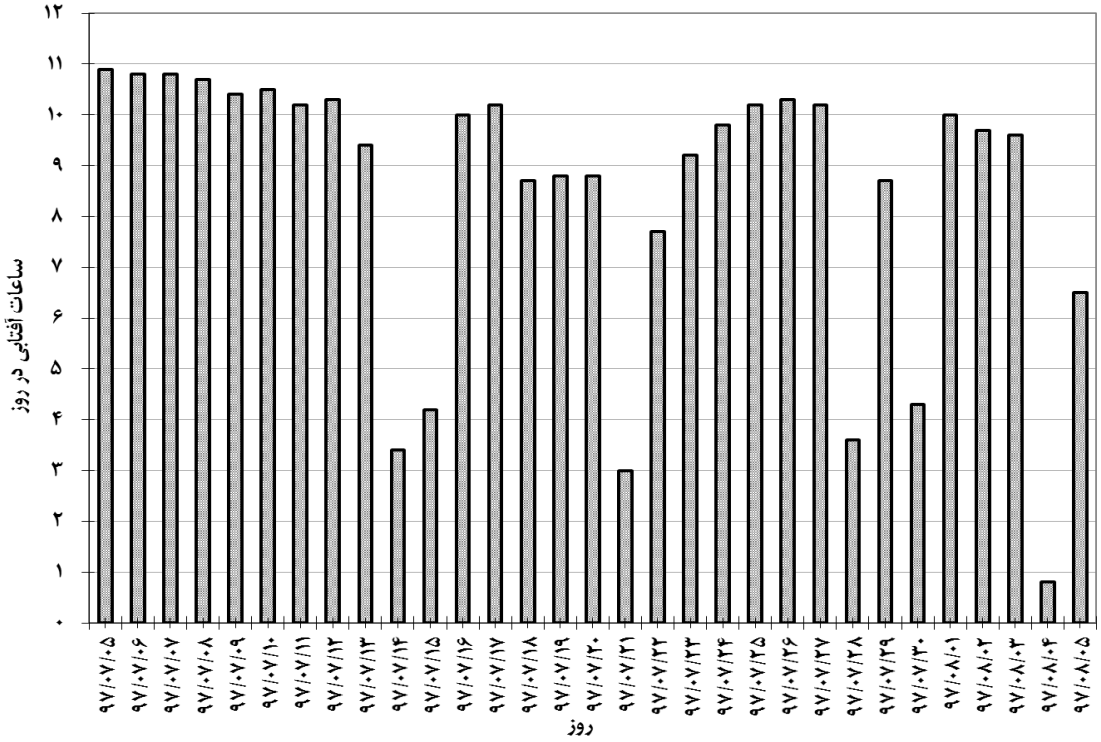
تاریخ کاشت بذر	تاریخ انتقال به گلدان	تاریخ برداشت محصول
۱۳۹۷/۰۶/۱۵	۱۳۹۷/۰۷/۰۵	۱۳۹۷/۰۸/۰۵

لازم به ذکر است در این مطالعه، پایش و اندازه‌گیری پارامترها و داده‌های مورد نیاز مستخرج از بهره‌برداری طرح پایلوت در طول دوره پژوهش شامل دما، رطوبت، تبخیرتعرق مرجع، نیاز آبی محصول و ...، توسط تجهیزات و دستگاه‌های دیجیتالی دقیق (دماسنج، رطوبت‌سنج، ترازو و ...) صورت پذیرفت. تمامی این تجهیزات دیجیتالی، توسط مدارهای الکتریکی مورد نیاز به دستگاه‌های ثبت داده[1] متصل شد و داده‌ها و اطلاعات اندازه‌گیری شده، با توجه به اهمیت و ضرورت آن‌ها، در بازه‌های زمانی مناسب (لحظه‌ای، ساعتی و روزانه) ثبت و ذخیره گردید.

یکی از متداول‌ترین روش‌های برآورد تبخیرتعرق مرجع که مبنای فیزیکی داشته و نسبت به مدل‌های تجربی از مزیت‌های بالاتری برخوردار است، روش پنمن-مونتیث می‌باشد که متکی بر داده‌های اقلیمی از جمله تابش، دما، رطوبت‌نسبی و سرعت باد می‌باشد (Allen *et al.*, 1998). در این راستا در مطالعه حاضر، میزان تبخیرتعرق مرجع در فضای باز توسط روش پنمن-مونتیث با استفاده از پارامترهای جوی دریافتی از ایستگاه هواشناسی سینوپتیک منطقه مطالعاتی صورت پذیرفت.

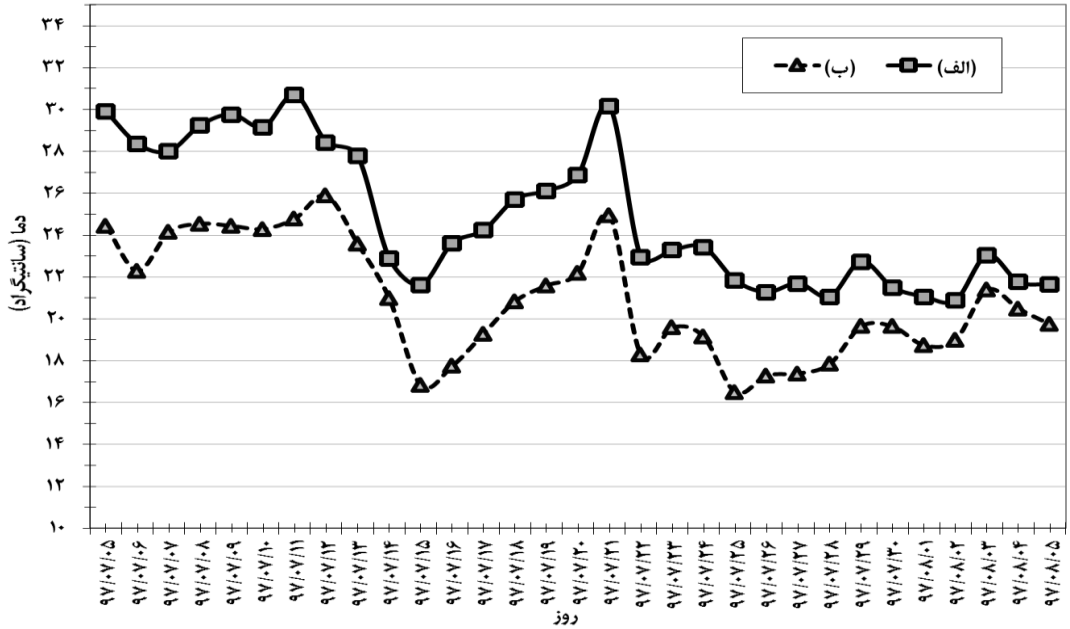
نتایج و بحث

به منظور شناخت و بررسی تغییرات پارامترهای جوی در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور و تأثیرپذیری آن‌ها از پارامترهای جوی فضای باز، در شکل (۲) نمودار تغییرات تعداد ساعات آفتابی در روز و در شکل (۳) و (۴) به‌ترتیب نمودار تغییرات پارامترهای دما و رطوبت‌نسبی اندازه‌گیری شدهٔ هوا در سیستم یکپارچه و فضای باز در طول دوره کشت محصول ریحان، نمایش داده شده‌اند.

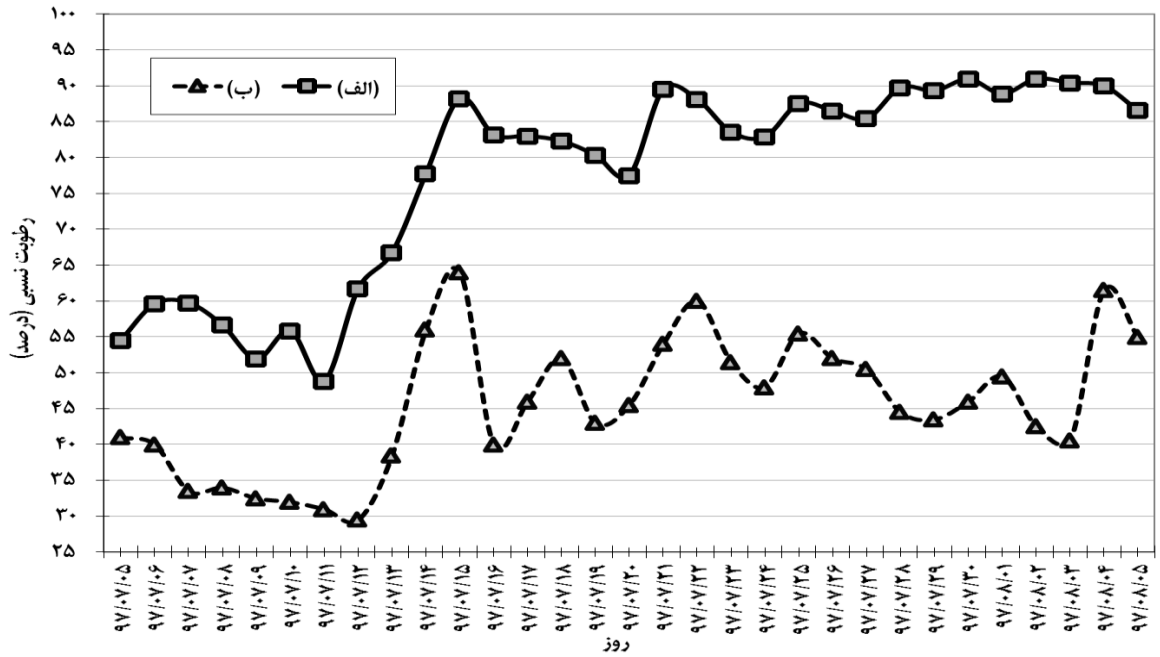


شکل ۲- نمودار تغییرات ساعات آفتابی در روز در طول دوره کشت محصول ریحان

1 Data logger



شکل ۳- نمودار تغییرات پارامتر دمای هوا در (الف) سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور و (ب) فضای باز



شکل ۴- نمودار تغییرات پارامتر رطوبت‌نسبی هوا در (الف) سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور و (ب) فضای باز

همان گونه که مشاهده می‌گردد، پارامترهای دما و رطوبت-نسبی هوا در سیستم یکپارچه پیشنهادی در تمامی دوره کشت محصول از مقدار بالاتری نسبت به پارامترهای متناظر هوا در فضای باز برخوردار می‌باشند، به‌گونه‌ای که میانگین دما و رطوبت-نسبی هوا در فضای باز در طول دوره کشت به‌ترتیب حدود ۲۱ درجه سلسیوس و ۴۶ درصد اندازه‌گیری گردیده است در صورتی که متوسط مقادیر این پارامترها در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور به‌ترتیب حدود ۲۵ درجه سلسیوس و حدود ۷۸ درصد، افزایش یافته است.

در این راستا به منظور بررسی میزان ارتباط و روابط بین پارامترهای جوی اندازه‌گیری شده در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور و فضای باز، از آنالیز همبستگی در محیط نرم‌افزار SAS استفاده شده که نتایج این روش تحلیلی در جدول (۵) ارائه گردیده است.

جدول ۵- تحلیل همبستگی پارامترهای جوی هوا در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور و فضای باز

متغیر	دمای هوا در فضای باز	دمای هوا در سیستم یکپارچه	رطوبت‌نسبی هوا در فضای باز	رطوبت‌نسبی هوا در سیستم یکپارچه	ساعات آفتابی
دمای هوا در فضای باز	۱/۰۰۰۰۰	۰/۹۰۹۵۳ <۰/۰۰۰۱	-۰/۶۷۳۸۱ <۰/۰۰۰۱	-۰/۷۸۳۰۳ <۰/۰۰۰۱	۰/۱۹۴۱۸ ۰/۲۹۵۲
دمای هوا در سیستم یکپارچه	۰/۹۰۹۵۳ <۰/۰۰۰۱	۱/۰۰۰۰۰	-۰/۶۵۶۷۱ <۰/۰۰۰۱	-۰/۸۵۳۲۹ <۰/۰۰۰۱	۰/۳۴۷۸۸ ۰/۰۵۵۲
رطوبت‌نسبی هوا در فضای باز	-۰/۶۷۳۸۱ <۰/۰۰۰۱	-۰/۶۵۶۷۱ <۰/۰۰۰۱	۱/۰۰۰۰۰	۰/۷۴۵۲۵ <۰/۰۰۰۱	-۰/۶۱۴۱۱ ۰/۰۰۰۲
رطوبت‌نسبی هوا در سیستم یکپارچه	-۰/۷۸۳۰۳ <۰/۰۰۰۱	-۰/۸۵۳۲۹ <۰/۰۰۰۱	۰/۷۴۵۲۵ <۰/۰۰۰۱	۱/۰۰۰۰۰	-۰/۴۹۶۹۱ ۰/۰۰۴۵
ساعات آفتابی	۰/۱۹۴۱۸ ۰/۲۹۵۲	۰/۳۴۷۸۸ ۰/۰۵۵۲	-۰/۶۱۴۱۱ ۰/۰۰۰۲	-۰/۴۹۶۹۱ ۰/۰۰۴۵	۱/۰۰۰۰۰

در جدول اعداد اول ضریب همبستگی و اعداد دوم سطح معنی‌داری را نشان می‌دهند.

بر اساس نتایج تحلیل همبستگی، پارامتر دمای هوا در سیستم یکپارچه دارای ارتباط مستقیم با پارامترهای دمای هوا در فضای باز و ساعات آفتابی در روز می‌باشد. ضریب همبستگی این پارامتر با پارامتر دمای هوا در فضای باز (R=۰/۹۱) از مقدار بالاتری نسبت به پارامتر ساعات آفتابی در روز (R=۰/۳۵) برخوردار است. همچنین پارامتر دمای هوا در سیستم یکپارچه دارای ضریب همبستگی منفی (R=-۰/۶۶) با پارامتر رطوبت‌نسبی هوا در فضای باز می‌باشد. در بررسی همبستگی پارامتر رطوبت-نسبی هوا در سیستم یکپارچه با عوامل جوی فضای باز، مشاهده می‌گردد که این پارامتر دارای همبستگی منفی با پارامترهای دمای هوا در فضای باز (R=-۰/۷۸) و ساعات آفتابی در روز (R=-۰/۵۰) و در ارتباط مستقیمی با پارامتر رطوبت‌نسبی هوا در فضای باز (R=۰/۷۵) می‌باشد.

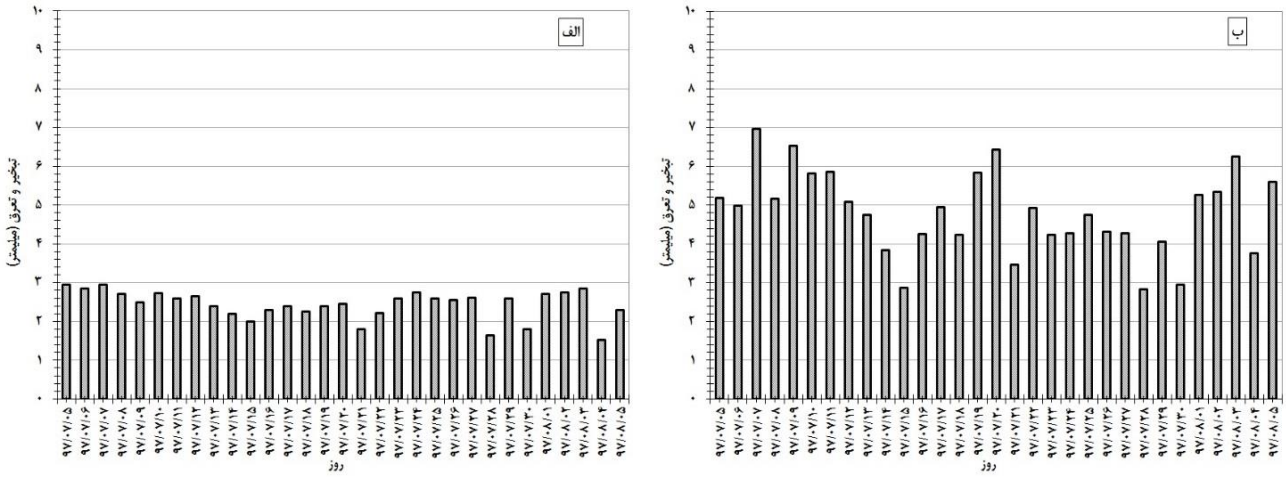
در مجموع نتایج حاصل از تحلیل همبستگی پارامترهای جوی اندازه‌گیری شده در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور و فضای باز، حاکی از همبستگی بالاتر عوامل جوی در سیستم یکپارچه با پارامتر دمای هوا در فضای باز می‌باشد، به گونه‌ای که اولویت تأثیرگذاری عوامل جوی فضای باز بر تغییرات پارامترهای جوی هوا در سیستم یکپارچه را می‌توان به‌ترتیب، تأثیر پارامتر دمای هوا، پارامتر رطوبت‌نسبی هوا و پارامتر ساعات آفتابی در روز بیان نمود.

از آنجایی که تغییرات شرایط جوی تأثیر به‌سزایی بر میزان تبخیرتعرق مرجع و نیاز آبی محصول خواهد داشت، لذا متفاوت بودن آن در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور نسبت به فضای باز، منجر به تفاوت مقادیر تبخیرتعرق مرجع و نیاز آبی گیاه در این محیط‌ها خواهد شد. در شکل (۵) مقادیر تبخیرتعرق مرجع اندازه‌گیری شده در سیستم یکپارچه پیشنهادی و مقادیر برآورد شده این پارامتر با مدل پنمن-مونتیث در فضای باز نمایش داده شده‌اند. بر این اساس، مقادیر تبخیرتعرق مرجع در محیط کشت سیستم یکپارچه پیشنهادی به مراتب کمتر از مقادیر این پارامتر در فضای باز می‌باشد. مجموع و متوسط تبخیرتعرق مرجع در فضای باز در طول دوره کشت به‌ترتیب برابر با ۱۴۹ میلی‌متر و ۴/۸۱ میلی‌متر در روز برآورد گردیده است در حالی که مجموع و متوسط تبخیرتعرق مرجع در محیط کشت سیستم یکپارچه پیشنهادی در این دوره برابر با ۷۶ میلی‌متر و ۲/۴۴ میلی‌متر در روز اندازه‌گیری شده است.

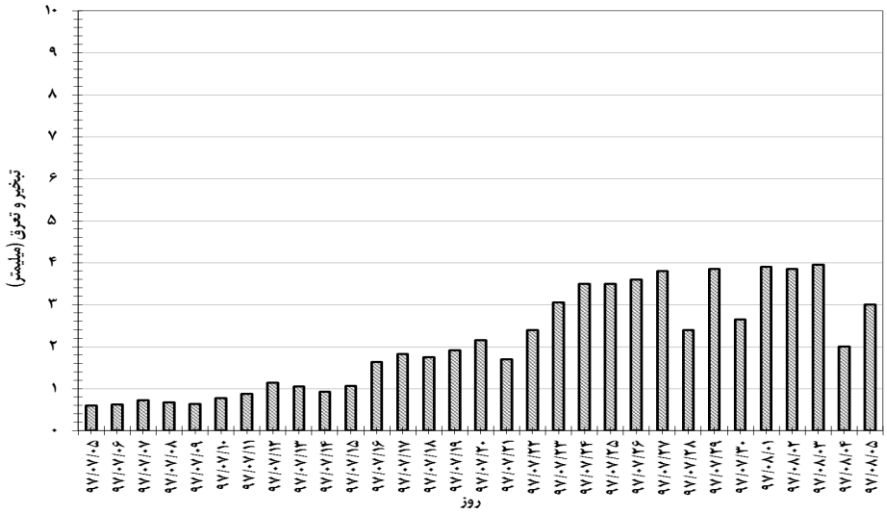
همچنین نمودار تغییرات مقادیر اندازه‌گیری شده نیاز آبی گیاه ریحان در طول دوره رشد محصول در سیستم یکپارچه پیشنهادی در مطالعه حاضر به صورت روزانه در شکل (۶) نمایش داده شده است. بر این اساس، مجموع و متوسط روزانه نیاز آبی گیاه ریحان در سیستم یکپارچه پیشنهادی در طول دوره کشت محصول به ترتیب برابر ۶۵ میلی‌متر و ۲/۱۱ میلی‌متر در روز اندازه‌گیری شد که بیشترین مقدار آن در این سیستم در طول دوره کشت، پس از ۲۹ روز از زمان انتقال نشاء به گلخانه، برابر با ۳/۹۵ میلی‌متر در روز صورت پذیرفته است. همچنین بر اساس اندازه‌گیری عملکرد محصول ریحان در پایان دوره کشت محصول در محیط گلخانه سیستم یکپارچه پیشنهادی که در جدول (۶) ارائه گردیده است، میانگین عملکرد زیست‌توده این محصول حدود ۱۸۹۵ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید.

مطابق نتایج حاصل از کشت محصول ریحان در فضای باز که در مطالعه حاضر به عنوان شاهد در نظر گرفته شده بود، مجموع نیاز آبی گیاه ریحان در طول دوره رشد محصول در فضای

باز برابر ۹۸ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. همچنین بر اساس اندازه‌گیری عملکرد این محصول در پایان دوره کشت در فضای باز، میانگین عملکرد زیست‌توده این محصول حدود ۱۱۲ گرم بر مترمربع معادل ۱۱۲۰ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید.



شکل ۵- مقادیر تبخیرتعرق مرجع الف) اندازه‌گیری شده در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور و ب) برآورد شده با مدل پنمن-مونتیث در فضای باز



شکل ۶- مقادیر تبخیر تعرق اندازه‌گیری شده ریحان در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور در طول دوره کشت

جدول ۶- مقادیر عملکرد محصول ریحان در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور

عملکرد	مقدار
تبخیرتعرق محصول (میلی‌متر)	۶۵/۵۰
ارتفاع گیاه (سانتی‌متر)	۳۸/۰۰
وزن تر بوته (گرم)	۱۲/۵۴
وزن خشک بوته (گرم)	۱/۴۴
وزن تر برگ در هر بوته (گرم)	۲/۲۸
وزن خشک برگ در هر بوته (گرم)	۰/۴۳
وزن تر ساقه در هر بوته (گرم)	۱۰/۲۶
وزن خشک ساقه در هر بوته (گرم)	۱/۰۱
عملکرد تر برگ محصول (کیلوگرم در هکتار)	۳۰۰۲
عملکرد خشک برگ محصول (کیلوگرم در هکتار)	۵۶۹
عملکرد تر پیکر رویشی محصول (کیلوگرم در هکتار)	۱۶۵۰۳
عملکرد خشک پیکر رویشی محصول (کیلوگرم در هکتار)	۱۸۹۵

از آنجایی که عملکرد هر محصول در شرایط مختلف مدیریتی در زمینه کاهش یا افزایش نیاز آبی محصول متفاوت خواهد بود کارایی مصرف آب شاخص مناسبی جهت ارزیابی تولید محصول به ازای واحد آب مصرفی می‌باشد. بر این اساس در مطالعه حاضر، با استفاده از مقادیر نیاز آبی گیاه و عملکرد محصول در محیط کشت گلخانه‌ای سیستم یکپارچه پیشنهادی و فضای باز، کارایی مصرف آب بر حسب عملکرد زیست‌توده محصول ریحان در محیط‌های مذکور مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول (۷) مقادیر نیاز آبی گیاه، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب در کشت گیاه ریحان در محیط کشت گلخانه‌ای سیستم یکپارچه پیشنهادی و فضای باز مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

جدول ۷- مقایسه مقادیر نیاز آبی گیاه، عملکرد محصول و کارایی مصرف آب در کشت گیاه ریحان در سیستم یکپارچه پیشنهادی و فضای باز

مقادیر	محیط کشت	
	فضای باز	سیستم یکپارچه پیشنهادی
نیاز آبی گیاه (میلی‌متر)	۹۸	۶۵
عملکرد زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار)	۱۱۲۰	۱۸۹۵
کارایی مصرف آب (کیلوگرم بر مترمکعب)	۱/۱۴	۲/۸۹

همانگونه که در جدول فوق مشاهده می‌گردد کنترل شرایط جوی در محیط کشت گلخانه‌ای سیستم یکپارچه پیشنهادی در مطالعه حاضر، منجر به کاهش نیاز آبی گیاه ریحان و افزایش عملکرد این محصول نسبت به کشت در فضای باز (به عنوان شاهد) گردیده است. بر این اساس در این مطالعه، مقدار کارایی مصرف آب در کشت محصول ریحان در فضای باز، معادل ۱/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه گردید، این در حالی است که مقدار این شاخص در محیط کشت گلخانه‌ای سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور معادل ۲/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب برآورد گردید.

نتیجه‌گیری

همانگونه که بیان گردید سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور ایده جدیدی است که برای اولین بار در این مطالعه، پایه‌ریزی و مطرح گردیده است. کارکرد این سیستم یکپارچه به‌گونه‌ای است که با کنترل عوامل جوی، رطوبت‌نسبی هوا را تا نزدیکی نقطه اشباع افزایش می‌دهد. بر این اساس، تبخیرتعرق و نیاز آبی محصول در این سیستم با فضای باز متفاوت خواهد بود. ازین‌رو، اهداف این مطالعه، بررسی و مقایسه تغییرات عوامل جوی (دما و رطوبت‌نسبی)، تبخیرتعرق مرجع، نیاز آبی محصول ریحان و کارایی مصرف آب در سیستم یکپارچه پیشنهادی نسبت به فضای باز می‌باشد. نتایج حاصل از تحلیل همبستگی پارامترهای جوی سیستم یکپارچه و فضای باز در مطالعه حاضر، حاکی از همبستگی بالای عوامل جوی هوا در سیستم یکپارچه پیشنهادی با پارامترهای جوی هوا در فضای باز با اولویت تأثیرگذاری دما، رطوبت‌نسبی و ساعات آفتابی می‌باشد. بر اساس نتایج، نیاز آبی و عملکرد محصول ریحان در فضای باز به ترتیب ۹۸ میلی‌متر و ۱۱۲۰ کیلوگرم در هکتار بود در حالی که مقادیر آن‌ها در محیط کشت گلخانه‌ای سیستم یکپارچه پیشنهادی به‌ترتیب ۶۵ میلی‌متر و ۱۸۹۵ کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید. در مجموع، با کشت محصول ریحان در سیستم یکپارچه نوین گلخانه و حوضچه تبخیر آب شور، مقدار کارایی مصرف آب معادل ۲/۸۹ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود این در حالی است که این مقدار در کشت در فضای باز معادل ۱/۱۴ کیلوگرم بر مترمکعب محاسبه گردید.

REFERENCES

Ahmadinik, A. and Rahimikhoob, A. (2014a). Evaporation Model of Solar Stills to Use in Condensation Irrigation System. 4th National Conference on Irrigation and Drainage Networks Management, 25-27 Feb, Shahid Chamran University of Ahwaz, Ahwaz, Iran. (In Farsi).

Ahmadinik, A. and Rahimikhoob, A. (2014b). Condensation Irrigation System and Solar Stills Evaporation Potential. 5th National Conference on Water Resources Management, 18-19 Feb, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. (In Farsi).

Ahmadinik, A. and Rahimikhoob, A. (2015). Evaluation of Modification Priestley - Taylor and Penman Models Radiation Component to Estimate Evaporation from Solar Stills. Iranian Journal of Irrigation and Drainage. 9(1): 120-130. (In Farsi).

Ahmadinik, A. and Rahimikhoob, A. (2016a). Evaluation of Evaporation from Solar Stills for Crop Water Requirement of Maize in South East Tehran. Iranian Water Research Journal. 10(4):

53-61. (In Farsi).

Ahmadinik, A. and Rahimikhoob, A. (2016b). Analysis of parameters affecting the potential of solar stills evaporation. Journal of Water and Soil Conservation. 22(5): 203-217. (In Farsi).

Akinaga, T., Generalis, S. C., Paton, C., Igobo, O. N. and Davies, P. A. (2018). Brine utilisation for cooling and salt production in wind-driven seawater greenhouses: Design and modelling. Desalination. 426(1): 135–154.

Al-Ismaili, A. M. and Jayasuriya, H. (2016). Seawater greenhouse in Oman: A sustainable technique for freshwater conservation and production. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 54(1): 653–664.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. and Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration: guidelines forcomputing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper n. 56. FAO, Rome, Italy. 300pp.

Alvarez, V. M., Ortega, M. J. G., Gorriz, B. M., Garci, M. S. A. and Valero, J. F. M. (2017). The use of desalinated seawater for crop irrigation in the Segura River Basin (south-eastern Spain). Desalination. 422(1): 153–164.

Chatrenour, M., Rasoulzadeh, A., Rahmanian, M., Esmaielpour, B. and Abdpour, A. R. (2012). Measurement of water requirement and crop coefficient of Basil in Ardabil. 6th National Conference on New Ideas in Agriculture, 29-30 Feb, Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan), Isfahan, Iran. (In Farsi).

Davies, P. A. and Paton, C. (2004). The Seawater Greenhouse and the Watermaker Condenser. 3rd International Conference on Heat Powered Cycles, Larnaca, Cyprus.

Davies, P. A. and Paton, C. (2005). The Seawater Greenhouse in the United Arab Emirates: thermal modelling and evaluation of design options. Desalination. 173(2): 103-111.

Ebrahimi, M., Rezaverdinejad, V., Besharat, S. and Abdi, M. (2018). A study of evapotranspiration as well as crop coefficient in Ocimum basilicum L. growth process in greenhouse. Journal of Water and Irrigation Management. 8(1): 1-10. (In Farsi).

Entesari, M. R., Heydari, N., Kheyrabi, J., Alaei, M., Farshi, A. A. and Vaziri, J. (2008). Water Use Efficiency in Greenhouse Production. Working Group on Sustainable Use of Natural Resources for Crop Production (WG-CROP), Iranian National Committee on Irrigation and Drainage (IRNCID). 180 pp. (In Farsi).

FAO. (2009). Global agriculture towards 2050. How to Feed the World in 2050: High-level Expert Forum on, 12-13 Oct, Rome.

Feitelson, E. and Rosenthal, G. (2012). Desalination, space and power: the ramifications of Israel's changing water geography. Geoforum. 43(1): 272–284.

Goosen, M. F. A., Sablani, S. S., Al-Hinai. H., Paton, C. and Shayya, W. H. (2001). Humidification-Dehumidification Desalination: Seawater Greenhouse Development. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, Manama, Bahrain.

Goosen, M. F. A., Sablani, S. S., Paton, C., Perret, J., Al-Nuaimi, A., Haffar, I., Al-Hinai, H. and Shayya, W. H. (2003). Solar energy desalination for arid coastal regions: development of a humidification–dehumidification seawater greenhouse. Solar Energy. 75(5):413–419.

Hamzezadeh, M., Fathi, P., Javadi, T. and Hassani, A. (2011). The effect of different irrigation water levels on Water Use Efficiency in Basil Plant (Ocimum Basilicum var. Keshkeny Levelu) Using Marginal Analysis Theory. Journal of Water and Soil. 25(5): 953-960. (In Farsi).

Heck, N., Paytan, A., Potts, D. C., Haddad, B. and Petersen, K. L. (2017). Management priorities for seawater desalination plants in a marine protected area: A multi-criteria analysis. Marine Policy 86(1): 64–71.

Levidow, L., Zaccaria, D., Maia, R., Vivas, E., Todorovic, M. and Scardigno, A. (2014). Improving water-efficient irrigation: prospects and difficulties of innovative practices. Agriculter Water Management. 146(1):84–93.

Ming, T., Gong, T., Richter, R. K. D., Cai, C. and Sherif, S. A. (2017). Numerical analysis of seawater desalination based on a solar chimney power plant. Applied Energy. 208(1): 1258-1273.

Mahmoudi, H., Abdul-Wahab, S. A., Goosen, M. F., Ouaged, A., Sablani, S. S. and Spahis, N. (2007). Wind energy systems adapted to the seawater greenhouse desalination unit designed for arid coastal countries. Revue des Energies Renouvelables. 10(1): 19 – 30.

Mahmoudi, H., Abdul-Wahab, S. A., Goosen, M. F. A., Sablani, S. S., Perret, J., Ouagued, A. and Spahis, N. (2008). Weather data and analysis of hybrid photovoltaic-wind power generation systems adapted to a seawater greenhouse desalination unit designed for arid coastal countries. Desalination. 222(1): 119–127.

Mahmoudi, H., Spahis, N., Abdul-Wahab, S. A., Sablani, S. S. and Goosen, M. F. A. (2010). Improving the performance of a seawater greenhouse desalination system by assessment of simulation models for different condensers. Renewable Sustainable Energy. 14(1): 2182–2188.

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. 3(10): 365-376. (In Farsi).

Omidbaigi, R. (1997). Approaches to Production and Processing of medicinal plants. Tarahane'e Nashr publication. 424 pp. (In Farsi).

Sablani, S. S., Goosen, M. F. A., Paton, C., Shayya, W. H. and Al-Hinai, H. (2003). Simulation of fresh

water production using a humidification–dehumidification seawater reenhouse. Desalination. 159(1): 283–288.

Seppanen, M. M. (2000). Characterize of freezing tolerance in Solanum commersonii (dun.) with special reference of the relationship between and oxidative stress. University of Helsinki, Department of Production, Section of Crop Husbandry. 56(1):4-44.

Tahri, T., Abdul-Wahab, S. A., Bettahar, A., Douani, M., Al-Hinai, H. and Al-Mulla, Y. (2009). Simulation of the condenser of the seawater greenhouse: part I: theoretical development. J. Therm. Anal. Calorim. 96(1): 35–42.

Tahri, T., Douani, M., Abdul-Wahab, S. A., Amoura, M. and Bettahar, A. (2013). Simulation of the vapor mixture condensation in the condenser of seawater greenhouse using two models. Desalination. 317(1): 152–159.

Yetilmezsoy, K. and Abdul-Wahab, S. A. (2014). A composite desirability function-based modeling approach in predicting mass condensate flux of condenser in seawater greenhouse. Desalination. 344(1): 171–180.

Zamen, M., Amidpour, M. and Rezaei, M. (2013). A novel integrated system for fresh water production in greenhouse: Dynamic simulation. Desalination. 322(1): 52–59.