DOI: 10.22059/ijswr.2021.315528.668837

تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۲، شماره ۴، تیر ۱۴۰۰ (ص ۱۱۱۵-۱۱۰۵)

(علمی – پژوهشی)

Water Requirements of Basil in an Equipped Greenhouse with Heat Exchanger

PAYAM KAMALI[1], SEIED MEHDY HASHEMY SHAHDANY[1*], HAMED EBRAHIMIAN[2], SAMAN JAVADI[1], SASAN ALI NIAEIFARD[3]

1. Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran
2. Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.
3. Department of Horticulture, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran.

(Received: Dec. 19, 2020- Revised: Feb. 24, 2021- Accepted: March. 1, 2021)

ABSTRACT

A significant part of water consumption in greenhouses is related to the processes of evapotranspiration and cooling of the greenhouse. A large amount of water consumption in greenhouses is not used and in the form humid air is directed outside by the exhaust fans, which can be recycled by a heat exchanger and reused by the condensation process. It is also possible to use the exhaust air from the heat exchanger for cooling. Therefore, the purpose of this study was to investigate the effect of using the exhausted air from the heat exchanger, for cooling inside the greenhouse and on the water requirement of basil in two growing seasons. For this purpose, two greenhouses, one equipped with a heat exchanger and the other without the heat exchanger, were constructed with dimensions of 6×5 m^2 and 2 meters in height. The results indicated that the greenhouse equipped with heat exchanger reduced the air temperature inside the greenhouse as compared to the greenhouse without the heat exchanger. In two growing periods, the average daily water requirements of basil for greenhouses equipped with heat exchangers and without heat exchangers were 2.53 and 3.26 mm in the first growing seasons and 2.19 and 2.81 mm in the second growing seasons, respectively, which showed significant difference between two greenhouses. In this study, the yield of basil in both greenhouses during the two growing periods was almost the same. Also, the yield in the second growing season in both greenhouses was lower than the one in the first growing seasons. Regarding the reduction of water consumption and the fact that a significant amount of water consumption can be recycled, the use of heat exchanger in greenhouses is suggested especially for tropical climate.

Keywords: Condensation, Evapotranspiration, Cooling, Greenhouse, Microclimate.

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

نیاز آبی گیاه ریحان در گلخانه مجهز به مبدل حرارتی

پیام کمالی[۱]، سید مهدی هاشمی شاهدانی[۱*]، حامد ابراهیمیان[۲]، سامان جوادی[۱]، ساسان علی نیائی فرد[۳]

۱. گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۲. گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

۳. گروه باغبانی، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۲۹- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۲/۶- تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/۱۱)

چکیده

بخش قابل توجهی از مصرف آب در گلخانه‌ها به فرآیندهای تبخیر-تعرق و خنک‌سازی گلخانه اختصاص دارد. در مناطق خشک با توجه به رواج سیستم پوشال و پنکه برای خنک‌سازی، حجم زیادی از آب استفاده شده در گلخانه‌ها بدون استفاده و به صورت هوای مرطوب توسط پنکه به بیرون هدایت می‌شود که توسط مبدل حرارتی قابل بازیافت بوده و امکان مصرف دوباره آن با فرآیند تقطیر وجود دارد. همچنین امکان استفاده از هوای خروجی از مبدل حرارتی به منظور خنک‌سازی وجود دارد. از این رو، هدف از انجام این تحقیق، بررسی تأثیر استفاده از هوای خروجی از مبدل حرارتی به منظور خنک‌سازی داخل گلخانه بر میزان نیاز آبی گیاه ریحان در دو فصل رشد است. به این منظور دو گلخانه یکی مجهز به مبدل حرارتی و دیگری بدون مبدل حرارتی به ابعاد ۶×۵ مترمربع و ارتفاع ۲ متر احداث گردید. نتایج نشان داد که استفاده از هوای خروجی از مبدل حرارتی برای خنک‌سازی گلخانه، باعث کاهش دمای محیط گلخانه نسبت به گلخانه بدون مبدل حرارتی شد. در دو دوره کشت، متوسط روزانه نیاز آبی گیاه ریحان برای گلخانه‌های مجهز به مبدل حرارتی و بدون مبدل حرارتی به ترتیب ۲/۵۳ و ۳/۲۶ میلی‌متر در کشت اول و ۲/۱۹ و ۲/۸۱ میلی‌متر در کشت دوم برآورد شد که تفاوت این مقادیر معنی‌دار بود. در این مطالعه مقدار عملکرد ریحان در دو گلخانه مجهز به مبدل حرارتی و بدون مبدل حرارتی طی دو دوره رشد تقریباً یکسان بود. همچنین عملکرد در دوره دوم رشد در هر دو گلخانه نسبت به دوره اول کاهش یافت. با توجه به کاهش مصرف آب و این‌که مقدار قابل توجی از آب مصرفی نیز قابل بازیافت است، استفاده از مبدل حرارتی در گلخانه‌ها به ویژه برای مناطق گرمسیری پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: چگالش، تبخیر-تعرق، خنک‌سازی، گلخانه، میکرو کلیما.

مقدمه

یک سوم جمعیت کل جهان در مناطقی همچون خاورمیانه، شمال آفریقا و بعضی از مناطق مدیترانه‌ای، تحت شرایط حاد تنش آبی زندگی می‌کنند (Rockstrom *et al.*, 2009; Alcamo *et al.*, 2007). به رغم این‌که ایران نواحی آب و هوایی متنوعی، اعم از مرطوب تا خشک دارد، اما در کل به عنوان ناحیه خشک و نیمه خشک طبقه‌بندی می‌شود (Ashraf *et al.*, 2014; Madani, 2014). براساس گزارشات، ایران در حال روبه رو شدن با چالش‌های پایداری آب و از جمله کشورهای دارای تنش آبی است (Madani, 2014; Madani *et al.*, 2016). طبق گزارش‌ها، ایران با تحلیل ویرانگر منابع آبی روبه رو خواهد شد (Proch *et al.*, 2018). بخش کشاورزی حدود ۷۰ درصد آب در بیشتر نقاط زمین را مصرف می‌کند. البته، این مقدار برای خاورمیانه تا مقدار ۹۰ درصد افزایش داشته است که این امر شدت بیشتر مصرف آب در نواحی گرم و خشک از جمله ایران را نشان می‌دهد (Roudi-Fahimi *et al.*, 2002).

با در نظر گرفتن تمامی این عوامل، برای ایران حیاتی است تا با صرفه‌جویی در مصرف آب نه تنها با بحران‌های آبی مقابله کند، بلکه سبب رونق اقتصادی شود. از یک طرف، کشت و تولید گلخانه‌ای کمترین مقدار مصرف آب را در بخش کشاورزی به خود اختصاص می‌دهد و از طرف دیگر، در خاورمیانه به دلیل آب و هوای گرم گلخانه‌ها به خنک‌سازی بیشتری نیاز دارند که سبب افزایش مصرف انرژی و آب می‌شود (Al-Nasser and Bhat,1998). از آنجایی که منابع آب شیرین موجود به تنهایی جوابگوی نیازهای فعلی و آینده آبیاری محصولات در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک نیستند، لزوم بکارگیری راهبردهای جدید برای حفظ یا افزایش تولید محصولات کشاورزی آبی، از جمله استفاده از منابع آب جدید یا منابع جایگزین و اقدامات

* نویسنده مسئول: mehdi.hashemy@ut.ac.ir

حفاظتی آب بیش از پیش احساس می‌شود (Levidow *et al.*, 2014). بخش قابل توجهی از آبی که در گلخانه‌ها به مصرف تبخیر و تعرق (حدود ۹۰ درصد) و خنک‌سازی محیط می‌رسد، قابل بازیافت است و دوباره می‌تواند با تقطیر به چرخه ورودی آب به گلخانه وارد شود. حجم زیادی از آب استفاده شده در گلخانه‌ها بدون استفاده و به صورت رطوبت توسط پنکه به بیرون هدایت می‌شود. به‌طور کلی در یک روز گرم و خشک، آب با دبی ۰/۴ لیتر بر دقیقه در مترمربع می‌تواند از روی سطح پوشال تبخیر شود (Zolovich, 2009). در حقیقت، آب مورد نیاز برای خنک‌سازی گلخانه‌ها در چنین مناطق گرم و خشکی بسیار زیاد است به طوری که در تحقیقی مقدار مصرف آب در پنکه و پوشال به ترتیب ۲/۶ و ۳/۵ برابر بیشتر از نیاز آبی فلفل شیرین و گوجه فرنگی گزارش شد (Hirich and Choukr-Allah, 2017).

در حقیقت، فرایند خنک‌سازی گلخانه پرمصرف‌ترین قسمت یک گلخانه از نظر مصرف آب در نواحی خشک و نیمه خشک است. دلیل اصلی زیاد بودن میزان مصرف آب در نواحی خشک و نیمه خشک، استفاده بیشتر از سیستم‌های خنک‌سازی تبخیری است که از گرمای نهان تغییر فاز آب به منظور تأمین کننده بار برودتی استفاده می‌کند. به رغم این‌که خنک‌سازی تبخیری همراه با مصرف آب زیاد است، ولی انرژی کمتری در مقایسه با سایر فناوری‌های متداول استفاده می‌کند، پژوهش‌های زیادی به این مشکل به صورت جداگانه و تعداد کمی با در نظر گرفتن هر دو پارامتر آب و انرژی پرداخته‌اند. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که تقریباً ۶۵ تا ۸۵ درصد مصرف انرژی و ۷۰ تا ۸۵ درصد از هزینه‌ها در یک گلخانه به تهویه و سرمایش هوا مربوط می‌شود (Anifantis *et al.*, 2017).

در مطالعات گذشته، هم در هوای آزاد و هم در گلخانه از رطوبت برای تولید آب استفاده شده است. در تحقیقی برای تولید آب شیرین با استفاده از خنک‌سازی زیرزمینی هوای مرطوب و انرژی خورشید به این نتیجه رسیدند که در مناطق گرم و مرطوب می‌توان با استفاده از سیستم تولید آب چگالشی به طور میانگین ۱/۸ کیلوگرم آب در روز در یک متر طول (۹۰ کیلوگرم آب در لوله ۵۰ متری) استحصال نمود. در تحقیقی استفاده از گلخانه آب دریا[1] در شرایط آب و هوایی بندرعباس، بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش رطوبت نسبی هوای ورودی، تولید آب و دمای کف گلخانه افزایش و تفاوت دما کاهش می‌یابد (Salehi *et al.*, 2011). همچنین با افزایش جریان آب از دریا، تولید آب افزایش و دمای کف کاهش می‌یابد. (Kabeel and Almagar, 2013) شرایط اقتصادی و تولید آب را در گلخانه آب دریا در مطالعات مختلف بررسی کردند. آنها گلخانه آب دریا را یک روش کشت، شیرین‌کننده آب، خنک‌کننده محیط کشت و یکپارچه کننده رطوبت در گلخانه دانستند که از لحاظ اقتصادی نیز می‌تواند به صرفه باشد.

در مطالعه‌ای جنبه‌های فنی و اقتصادی تولید آب در گلخانه با استفاده از سامانه GHHD[2] برای تأمین نیازهای آبیاری و شرب در منطقه خلیج فارس بررسی شد. نتایج نشان داد که استفاده از فن‌آوری‌های جدید، هم می‌تواند باعث تولید آب بیشتر شود و هم پاسخگوی نگرانی‌های کارشناسان در مورد جنبه اقتصادی این طرح باشد (Kabeel *et al.*, 2015). در دانشگاه سلطان قابوس عمان به بررسی جامع و به روز در مورد جنبه‌های اقتصادی و فنی گلخانه آب دریا پرداخته شد. طبق این نتایج، میزان شوری آب تولید شده از رطوبت، برابر صفر گزارش شد. میزان آب تامین شده تقریباً نصف نیاز آبیاری محصول بوده که با ترکیب با آب شور می‌تواند افزایش یابد. همچنین در این مطالعه هزینه‌های اولیه دستگاه سردکننده نیز کاهش یافته است (Al-Ismaili and Jayasuriya, 2016). در مطالعه‌ای تأثیر پارامترهای عملیاتی بر مقدار میعانات در مبدل حرارتی گلخانه آب دریا در مسقط (عمان) بررسی شد. نتایج نشان داد که سرعت جریان هوا میزان میعانات را افزایش می‌دهد (Tahri *et al.*, 2016). در مطالعه دیگری نتایج نشان داد که دمای آب نسبت به دمای هوا تأثیر بیشتری بر میزان آب تولیدی توسط آب شیرین کن دارد (Hossein Khani, 2016).

نتایج مطالعات در زمینه تبدیل رطوبت به آب در گلخانه‌هایی مانند گلخانه آب دریا نشان داده می‌دهد که امکان تبدیل رطوبت هوا به آب وجود دارد. با این حال، اساس کار در این نوع گلخانه‌ها تبدیل آب شور به آب شیرین با استفاده از مبدل سردکننده است. در حالی که در مطالعه حاضر با توجه به این‌که بخش زیادی از آب آبیاری صرف تبخیر و تعرق می‌شود و همچنین حجم آب زیادی که در اکثر مناطق کشور صرف خنک‌سازی محیط گلخانه می‌شود، فرض بر این است که می‌توان بخشی از این آب مصرفی را که به صورت هوای مرطوب از گلخانه خارج می‌شود، با استفاده از مبدل سردکننده به آب تبدیل کرد. همچنین علاوه بر استفاده از مبدل سردکننده به منظور تبدیل هوای مرطوب خروجی از گلخانه به آب، امکان استفاده از مبدل سردکننده برای خنک‌سازی محیط گلخانه (به‌گونه‌ای که هوای خروجی از مبدل سردکننده دوباره به داخل گلخانه برگشت داده می‌شود) نیز وجود دارد. بدین منظور، مبدل سردکننده می‌تواند

---

۱ . Seawater Greenhouse

۲ . Greenhouse Humidification Dehumidification

به‌صورت همزمان با سیستم پنکه و پوشال مورد استفاده قرار گیرد. هوای سرد وارد شده به گلخانه یک سیستم میکروکلیمای (خرد اقلیم) متفاوتی نسبت به گلخانه‌های متداول ایجاد می‌کند. در فصول گرم و مخصوصاً در مناطق گرم و خشک، دمای داخل گلخانه در صورت تابش زیاد خورشید به مراتب بالاتر از دمای هوا می‌شود. در این صورت، ممکن است سامانه پنکه و پوشال به تنهایی نتواند باعث خنک شدن گیاهان گردد (منتظری و همکاران ۱۳۹۸). استفاده از هوای خروجی از مبدل حرارتی برای سرمایش داخل گلخانه باعث می‌شود که از انرژی صرف شده در مبدل حرارتی هم برای تولید آب و هم برای کمک به سرمایش محیط گلخانه استفاده کرد که باعث استفاده حداکثری از انرژی خواهد شد. در این سامانه بعد از این‌که هوای مرطوب خروجی از گلخانه به داخل مبدل حرارتی هدایت شد و بخشی از رطوبت آن به آب تبدیل شد، برای سرمایش محیط گلخانه دوباره به داخل گلخانه برگردانده می‌شود. به گونه‌ای که هوای خروجی از گلخانه ابتدا توسط هواکش به داخل مبدل حرارتی منتقل و بعد از رسیدن به انتهای مبدل حرارتی توسط لوله متصل به آن دوباره به داخل گلخانه هدایت می‌شود.

در سال‌های اخیر کشت گیاهان دارویی از جمله ریحان در داخل محیط گلخانه گسترش یافته است که در این مطالعه هم ریحان به عنوان گیاه مورد مطالعه، انتخاب شد. ریحان (*Ocimum basilicum L.*) از جمله سبزی‌های برگی و معطر از خانواده نعناعیان است. این گیاه یکی از پرکاربردترین 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 سبزی‌ها و صیفیها، انجام تحقیقات در مورد تخمین دقیق نیاز آبی این محصولات ضروری است و آگاهی از نیاز آبی این گیاه برای مصرف بهینه آب کشاورزی از اهمیت بالایی برخوردار است. بنابراین، هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر مبدل حرارتی بر میکروکلیمای داخل گلخانه و نیاز آبی گیاه ریحان است.

مواد و روش‌ها

این مطالعه در سال ۱۳۹۸ در محل مزرعه تحقیقاتی گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان دانشگاه تهران با موقعیت جغرافیایی ´۴۱°۵۱ طول شرقی و ´۲۸°۳۵ عرض شمالی و ارتفاع ۱۰۲۰ متری از سطح دریا با متوسط بارندگی ۲۳۰ و تبخیر ۱۳۹۰ میلی‌متر در سال که جزو مناطق اقلیمی نیمه خشک محسوب می‌گردد، انجام شد. این تحقیق برای محصول ریحان در دو دوره کشت با طول دوره ۴۵ روز، انجام شد. در جدول (۱)، تاریخ کاشت و تاریخ اتمام آزمایش محصول مورد مطالعه در این دو دوره کشت، ارائه شده است.

جدول ۱- تقویم زراعی محصول مورد مطالعه

کشت	تاریخ کاشت	تاریخ شروع آزمایش	تاریخ اتمام آزمایش
اول	۱۳۹۸/۰۵/۰۵	۱۳۹۸/۰۵/۱۴	۱۳۹۸/۰۶/۲۷
دوم	۱۳۹۸/۰۶/۲۸	۱۳۹۸/۰۷/۰۶	۱۳۹۸/۰۸/۰۲۰

در این مطالعه، قبل از شروع آزمایشات در گلخانه اصلی برای تعیین ابعاد بهینه مبدل حرارتی، سه طول مبدل حرارتی (۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر) و سه سرعت هوای ورودی (۰/۵، ۰/۸ و ۱/۲ متر بر ثانیه) مورد بررسی قرار گرفتند. با استفاده از دیمر الکتریکی، دور فن در سرعت‌های ۰/۵، ۰/۸ و ۱/۲ متر بر ثانیه تنظیم شد. با استفاده از رابطه زیر دور فن به سرعت تبدیل شد:

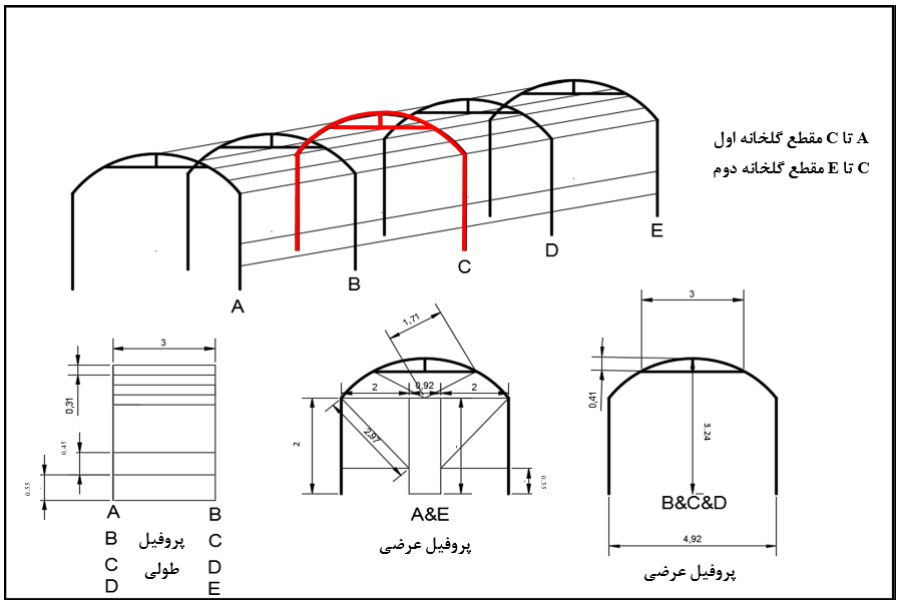
$$V = r(\frac{2\pi}{60}) * N \quad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن، V: سرعت (متر بر ثانیه)، r: شعاع (متر) و N: دور در دقیقه است.

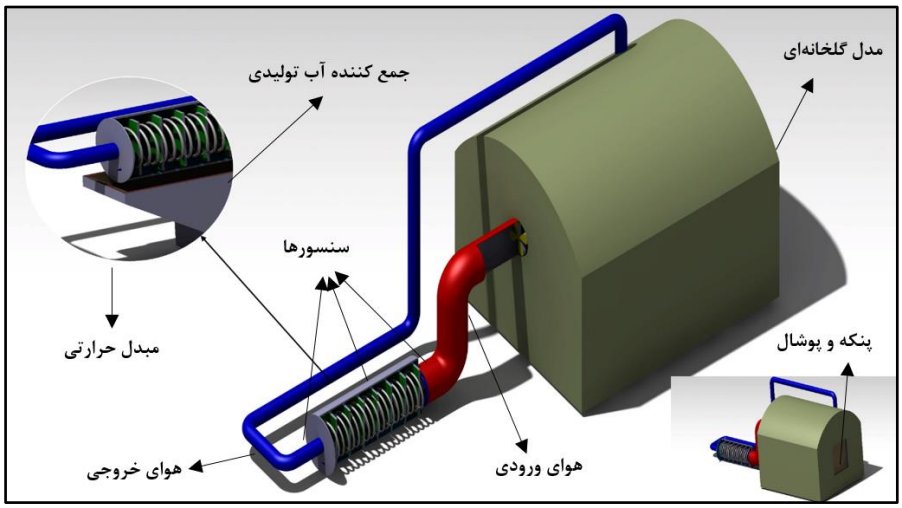
تیمارهای آزمایشی بر اساس شرایط موجود و مطالعات گذشته (Hossein Khani, 2016; Tahri *et al.*, 2016) انتخاب شدند. برای این منظور، مدل گلخانه‌ای به ابعاد ۱×۲ مترمربع و ارتفاع ۱/۵ متر احداث گردید. بیشترین مقدار آب چگالش شده در طول ۱/۵ متر و سرعت هوای ۱/۲ متر بر ثانیه، به دست آمد.

سپس دو گلخانه پلاستیکی به ابعاد ۶×۵ مترمربع و ارتفاع ستون برابر ۲ متر برای بررسی تغییرات نیاز آبی گیاه ریحان احداث شدند. یکی از گلخانه‌ها مجهز به مبدل حرارتی برای تقطیر رطوبت داخل گلخانه و گلخانه دیگری به عنوان شاهد و بدون مبدل حرارتی بود (شکل ۱). شکل (۲) طرح نمادین گلخانه مورد آزمایش را نشان می‌دهد. دماسنج در داخل گلخانه، داخل مبدل و در قسمت انتهای مبدل حرارتی برای اندازه‌گیری دمای هوای ورودی و خروجی و کنترل دمای داخل مبدل (که برابر با دمای نقطه شبنم باشد) نصب شد. همچنین، رطوبت‌سنج برای اندازه-گیری رطوبت نسبی در داخل گلخانه و قسمت خروجی مبدل نصب شد. هوای مرطوب خروجی از گلخانه با استفاده از یک لوله عایق به سمت دستگاه چگالش هدایت می‌شد و بعد از عبور از داخل آن و از دست دادن رطوبت خود از قسمت انتهایی دستگاه خارج می‌شد. ورودی و خروجی مبدل حرارتی مجهز به فن بود.

همچنین، دستگاه دارای یک مخزن برای جمع‌آوری آب چگالش شده و یک شیر برای خروج آب بود.



شکل ۱- شماتیک گلخانه طراحی شده



شکل ۲- شماتیک گلخانه مجهز به مبدل حرارتی

معادلات حاکم بر فرآیند تقطیر در داخل لوله

با تقسیم کردن لوله به بازه‌های دمایی به اندازه کافی کوچک و فرض شار حرارت سطحی یکنواخت درون هر بازه می‌توان لایه مرزی حرارتی را در تمام لوله کاملاً توسعه یافته در نظر گرفت. موازنه حرارتی برای یک بازه را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$\dot{q} = \dot{q}_{cond} + \dot{q}_{conv}$$ (رابطه ۲)

که در آن

$\dot{q}$: شار حرارتی کلی از لوله در واحد طول لوله

$\dot{q}_{cond}$: شار حرارتی تقطیر در واحد طول لوله

$\dot{q}_{conv}$: شار حرارتی جابجایی دورن لوله در واحد طول لوله

جریان عبوری از لوله را می‌توان به دو منطقه ورودی و کاملاً توسعه یافته تقسیم نمود. زمانی که سیال وارد لوله می‌شود به دلیل نیروهای ویسکوز، ضخامت لایه مرزی هیدرولیکی روی سطح و در اولین قسمت از لوله افزایش می‌یابد (Boguslaw and Lukasz, 2004).

نرخ انتقال حرارت به اختلاف دمای بین دو محیط، سطح تماس و ضریب انتقال جابجایی حرارت وابسته است. ضریب انتقال

جابجایی توسط سه عدد بی بعد رینولدز[۱]، پرانتل[۲] و ناسلت[۳] و همچنین ثابت‌های وابسته دمایی، بیان می‌گردد.

عدد رینولدز که نسبت نیروهای اینرسی و ویسکوز است، برای تعیین نوع جریان به کار می‌رود:

$$Re = \frac{VL}{\upsilon}$$ (رابطه ۳)

که در آن، v سرعت سیال بر حسب متر بر ثانیه، L طول مشخصه سیال بر حسب متر و υ ویسکوزیته سینماتیکی سیال بر حسب متر بر مجذور ثانیه می‌باشد.

عدد پرانتل، نسبت ویسکوزیته سینماتیکی و پخش حرارتی است و تأثیر نسبی مومنتم و انتقال انرژی به وسیله پخش در لایه مرزی حرارتی را نشان می‌دهد. مقدار این عدد در جداول ترمودینامیکی در دماهای مختلف برای سیال مورد نظر یافت می‌شود (Cengel and Ghajar, 2015). دو عدد بی بعد رینولدز و پرانتل برای محاسبه عدد ناسلت مورد نیاز هستنند. عدد ناسلت توسط معادله گنیلینسکی[۴] به‌دست می‌آید:

$$Nu = \frac{\left(\frac{f}{8}\right)(Re-1000)Pr}{1+12.7\left(\frac{f}{8}\right)^{0.5}\left(Pr^{\frac{2}{3}}-1\right)}$$ (رابطه ۴)

که در آن، Re عدد رینولدز، Pr عدد پرانتل و f ضریب افت فشار بی بعد برای جریان داخلی می‌باشد.

با افزایش سرعت هوای ورودی عدد رینولدز افزایش و هنچنین باعث ایجاد افت فشار و افزایش عدد پرانتل و نفوذ حرارتی می‌شود و درنتیجه انتقال حرارت بیشتر اتفاق افتاده و میزان آب تولیدی افزایش می‌یابد.

با حرکت توده هوا از ابتدای محفظه مبدل به انتهای آن، با ثابت بودن دمای سطح محفظه، دمای جریان هوا کاهش یافته پس، اختلاف دما بین سطح و جریان هوا کاهش می‌یابد و در نتیجه نرخ انتقال حرارت در انتهای محفظه کمتر خواهد بود. همچنین در ابتدای ورود جریان هوا به داخل محفظه، جریان آشفته می‌باشد که در نتیجه آن لایه مرزی در ابتدای محفظه ضخامت کمتری نسبت به انتهای محفظه دارد و هر چقدر ضخامت لایه مرزی کمتر باشد، نرخ انتقال حرارت بیشتر خواهد بود. علاوه بر این، جریان هوا در ابتدای ورود به داخل محفظه، توسعه نیافته است و پروفیل سرعت جریان هوا و لایه‌های مرزی به‌طور منظم تشکیل نشده است که این خود نیز دلیل بیشتر بودن نرخ انتقال حرارت در ابتدای محفظه نسبت به انتهای محفظه است. به‌طور کلی، آشفته بودن جریان هوا در ابتدای محفظه و اختلاف دمای بیشتر جریان هوا و سطح در ابتدای محفظه نسبت به انتهای محفظه و عدم توسعه یافتگی جریان هوا در ابتدای محفظه باعث بیشتر بودن نرخ انتقال حرارت در ابتدای محفظه نسبت به انتهای آن می‌باشد.

شار حرارتی جابجایی دورن لوله با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\dot{q}_{conv} = h_D.A.\Delta T$$ (رابطه ۵)

که در آن،

h_D: ضریب هدایت حرارتی

A: سطح مقطع لوله

ΔT: اختلاف دمای هوای مرطوب و محیط سردکننده

و شار حرارتی تقطیر نیز از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\dot{q}_{cond} = m_c.A.h_{fg}$$ (رابطه ۶)

h_{fg} (ژول بر کیلوگرم)، گرمای نهان تبخیر آب در دمای متوسط بازی دمایی، m_c جریان جرمی آب چگالش یافته و A سطح مقطع لوله می‌باشد.

برای کشت ریحان، ابتدا بذر ریحان در سینی نشاء کاشته شد و پس از جوانه‌زنی و سبز شدن، عملیات تنک‌کاری بوته‌ها طی چند مرحله صورت پذیرفت. پس از رشد اولیه محصول و چهار تا شش برگی شدن گیاه، نسبت به آماده‌سازی گلدان‌ها اقدام شد و بوته‌های ریحان به داخل گلدان‌ها منتقل گردیدند. بسترکشت گیاه در گلخانه، خاکی با بافت سیلتی لوم بود که با کود حیوانی، ماسه و مواد آلی ترکیب شد (به ترتیب ۶۰، ۲۰، ۱۰ و ۱۰ درصد). برای برنامه‌ریزی آبیاری، نقطه رطوبتی حد ظرفیت زراعی با استفاده از دستگاه صفحات فشاری تعیین شد. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جدول (۲) ارائه شده‌اند. عملیات آبیاری با تأمین کامل نیاز آبی گیاه به صورت روزانه انجام شد. همچنین برای تعیین تبخیر- تعرق و نیاز آبی محصول به صورت روزانه، از روش وزنی توسط میکرولایسیمتر استفاده شد. در طی فصل رشد، وزن گلدان‌ها در پایان هر روز اندازه‌گیری شد و تأمین رطوبت خاک درون گلدان‌ها تا حد رطوبت ظرفیت زراعی مدنظر قرار گرفت، به گونه‌ای که زهابی از ته گلدان‌ها خارج نمی‌شد. مقدار کمبود رطوبت خاک نسبت به حد ظرفیت زراعی در پایان هر روز، به عنوان نیاز آبی محصول در نظر گرفته شد. ویژگی‌های کیفی آب آبیاری در جدول (۳) آمده اند. این مطالعه شامل دو دوره کشت محصول ریحان در محیط کشت گلخانه‌ای بود که از زمان انتقال بوته‌ها به گلدان تا زمان برداشت محصولف به طول انجامیدند. همچنین در طول دوره پژوهش، پایش و اندازه‌گیری پارامترها و داده‌های مورد نیاز مستخرج از بهره‌برداری گلخانه مجهز به مبدل حرارتی، شامل دما، رطوبت و تبخیر- تعرق توسط

۱. Reynolds
۲. Prandtl
۳. Nusseelt
۴. Gnielinski

حسگرها و دستگاه‌های دیجیتالی دقیق، صورت پذیرفت که تمامی این تجهیزات، توسط مدارهای الکتریکی مورد نیاز به دستگاه‌های ثبت داده متصل بودند و داده‌ها و اطلاعات اندازه‌گیری شده با توجه به اهمیت و ضرورت آنها در بازه‌های زمانی لحظه‌ای، ساعتی و روزانه ثبت و ذخیره گردید. باتوجه به این‌که مقدار آب داده شده به گلدان‌ها به اندازه نیاز آبی گیاه بود، و خاک کشت شده از لحاظ شوری مشکلی نداشت، از مقدار نیاز آبشویی برای شستشوی املاح صرف‌نظر شد. مقادیر عملکرد خشک برگ و پیکر رویشی ریحان در هر دو کشت اندازه‌گیری شدند. در این مطالعه برای مقایسه میانگین گروهی داده‌های روزانه نیاز آبی گیاه از آزمون t (t-test) مستقل استفاده شد. برای این منظور از نرم‌افزار SAS ver 26 استفاده شد.

جدول ۲- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

بافت خاک	رس (٪)	سیلت (٪)	شن (٪)	pH (-)	EC_e ($dS\ m^{-1}$)	جرم ویژهٔ ظاهری ($g\ cm^{-3}$)	رطوبت حجمی ظرفیت زراعی (٪)
سیلتی لوم	۳۹	۲۵	۳۶	۶/۶۵	۱/۶۴	۱/۳۱	۳۱/۵

جدول ۳- مشخصات کیفی آب آبیاری

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

نتایج و بحث

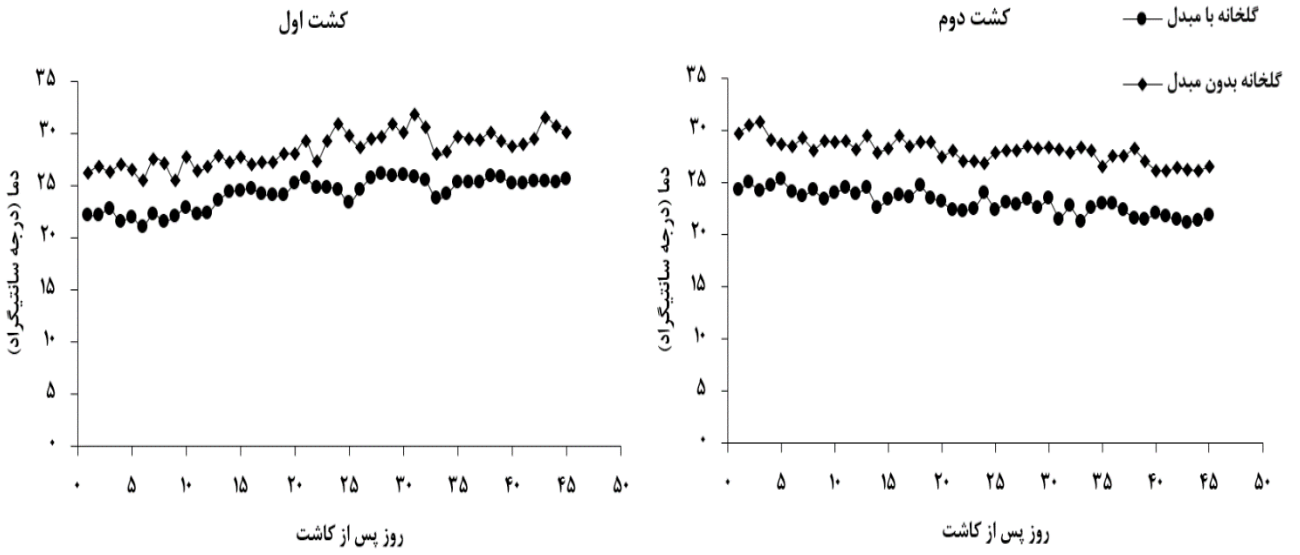
تاثیر مبدل حرارتی بر دما و رطوبت گلخانه

میزان تاثیر بکارگیری مبدل حرارتی در تغییر دما و رطوبت گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. در دوره اول کشت، متوسط دما و رطوبت نسبی هوا در فضای باز به ترتیب ۲۴ درجه سلسیوس و ۳۸٪ اندازه-گیری شدند. مقادیر این پارامترهادر داخل گلخانه بدون مبدل به ترتیب ۲۹ درجه سلسیوس و ۶۹٪ اندازه‌گیری شدند. این در صورتی است که در گلخانه مجهز به مبدل حرارتی، متوسط دما برابر ۲۴ درجه سلسیوس و میزان رطوبت در حدود ۷۴٪ شد. این نسبت کم و بیش در کشت دوم نیز تکرار شد به نحوی که مقادیر متوسط دما و رطوبت نسبی هوا در فضای باز به ترتیب ۲۳ درجه سلسیوس و ۳۹٪ و در داخل گلخانه بدون مبدل به ترتیب ۲۸ درجه سلسیوس و ۷۲٪ اندازه‌گیری شد. مشابه کشت اول، تجهیز گلخانه به مبدل حرارتی منجر به کنترل دمای گلخانه تا حدود دمای فضای باز، حدود ۲۳ درجه سلسیوس و میزان رطوبت برابر ۷۶٪ اندازه‌گیری شد. بنابراین مبدل حرارتی در هر دو کشت انجام شده سبب کاهش دما و افزایش رطوبت هوای داخل گلخانه شد. نتایج آزمون t-test مستقل نشان می‌دهد که تأثیر مبدل حرارتی بر روی دما و رطوبت معنی‌دار است (جدول ۴).

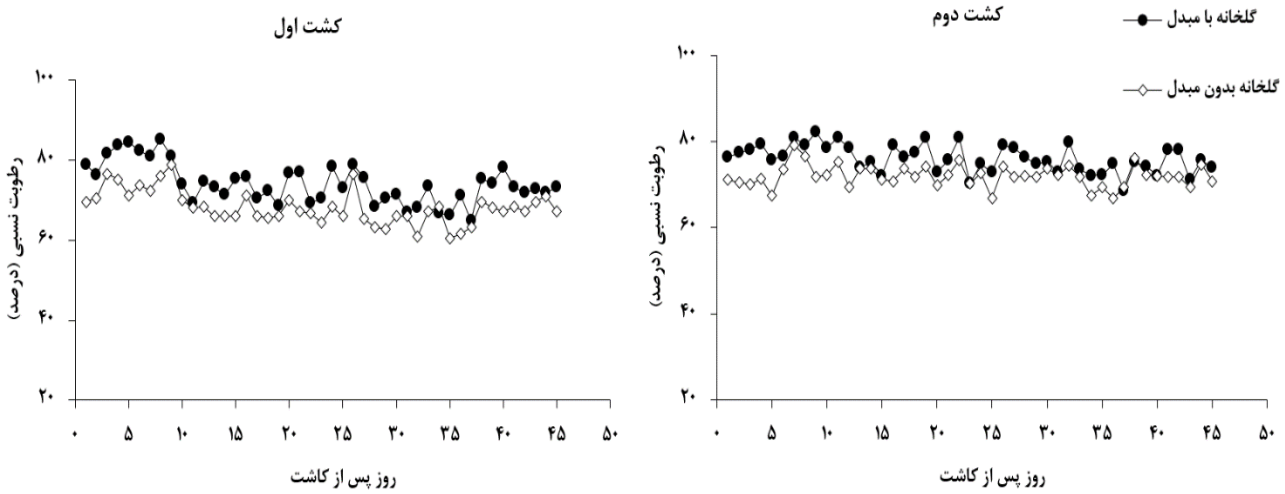
جدول ۴- نتایج آزمون t-test برای دما و رطوبت

کشت	دما			رطوبت		
	df	P	t	df	P	T
اول	۸۸	<۰/۰۰۱	-۱۳/۰۲۶	۸۸	<۰/۰۰۱	۶/۰۶۰
دوم	۸۸	<۰/۰۰۱	-۲۱/۱۱۳	۸۸	<۰/۰۰۱	۶/۶۶۲

تغییرات زمانی متوسط دما و رطوبت نسبی محیط گلخانه در دو حالت تجهیز به مبدل و بدون استفاده از مبدل، در طی دوره رشد در شکل‌های (۳ و ۴) ارائه شده است.



شکل ۳- متوسط دمای محیط گلخانه مجهز به مبدل و بدون مبدل حرارتی طی دو دوره رشد



شکل ۴- متوسط رطوبت نسبی محیط گلخانه مجهز به مبدل و بدون مبدل حرارتی طی دو دوره رشد

تاثیر مبدل حرارتی بر نیاز آبی ریحان

نتایج بررسی تاثیر بکارگیری مبدل حرارتی در گلخانه بر نیاز آبی ریحان توسط مقادیر حداقل، حداکثر، متوسط و مجموع مقادیر روزانه نیاز آبی در محیط کشت گلخانه‌ای درطی دوره‌های اول و دوم کشت در جدول (۵) ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصله در تمامی روزهای مربوط به کشت‌های اول و دوم محصول، مقادیر نیاز آبی روزانه گیاه ریحان در محیط کشت گلخانه‌ای مجهز به مبدل حرارتی کمتر از گلخانه بدون مبدل بدست آمد. شکل‌های (۵ و ۶) نحوه پراکنش زمانی مقدار تبخیر و تعرق روزانه در دو فصل کشت انجام شده در این تحقیق را نشان می‌دهد. مقایسه نتایج حاصله حاکی از روند یکسان تغییرات مقادیر روزانه نیاز آبی گیاه ریحان در محیط کشت گلخانه‌ای با مبدل حرارتی و بدون مبدل حرارتی در هر دو فصل کشت است. مقادیر تبخیر- تعرق گیاه در هر دو گلخانه مورد مطالعه با گذشت زمان روند افزایشی داشته است. اختلاف میانگین مقادیر روزانه نیاز آبی گیاه ریحان برای هر دو گلخانه در سطح ۵٪ ($p<0.05$) معنی‌دار بود (جدول ۶). مقادیر نیاز آبی گیاه در هر دو گلخانه در کشت اول بیشتر از کشت دوم بود که به دلیل گرم‌تر بودن هوا و طول روز بلندتر در دوره کشت اول (اوایل خرداد تا اوایل مرداد) نسبت به دوره کشت دوم (اواخر مرداد تا اوایل مهر) بود. علت معنی‌دار بودن مقادیر نیاز آبی ریحان در دو گلخانه مورد مطالعه را می‌توان در متفاوت بودن شرایط جوی در گلخانه‌ها دانست. همان‌گونه که بیان گردید، میانگین دمای هوا در گلخانه با مبدل حرارتی به مراتب کمتر از مقادیر این پارامتر در گلخانه بدون مبدل حرارتی بود. همچنین، مبدل حرارتی سبب افزایش رطوبت هوای گلخانه شد. بنابراین کاهش دما و افزایش رطوبت منجر به کاهش تبخیر- تعرق (یا نیاز آبی گیاه) شد. در توجیه نتایج بدست آمده در این تحقیق، می‌توان به Salih and Sendil (1984) اشاره نمود که مشخص نمود در مناطق خشک و نیمه خشک، دو پارامتر دما و تشعشع خورشیدی نقش اساسی را در تبخیر- تعرق ایفا می‌کنند و سایر عوامل، در درجه دوم اهمیت قرار دارند. همچنین نتیجه تحقیقات Makenney and Norman (1993) در تعیین حساسیت تبخیر و تعرق پتانسیل به تغییر اقلیم، از هشت مدل برای محاسبه تبخیر- تعرق استفاده کردند. نتایج نشان داد که تمامی مدل‌های مورد بررسی به دما بسیار حساس هستند.

جدول ۵- مقادیر نیاز آبی محصول ریحان در محیط کشت گلخانه‌ای در دو دوره کشت

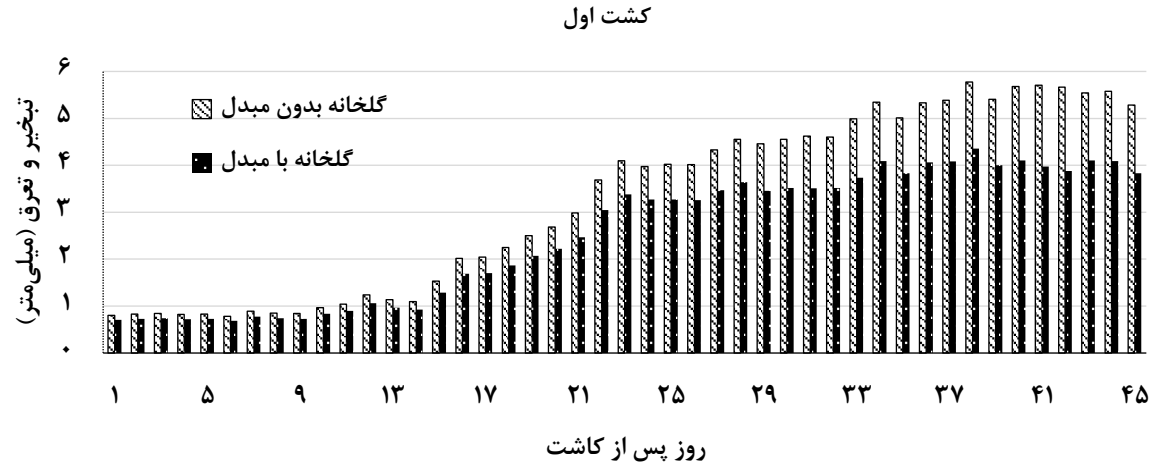
نیاز آبی گیاه (میلی‌متر)	کشت اول		کشت دوم	
	گلخانه بدون مبدل	گلخانه مجهز به مبدل	گلخانه بدون مبدل	گلخانه مجهز به مبدل
حداقل روزانه	۰/۷۸	۰/۶۸	۰/۶۹	۰/۶۱
حداکثر روزانه	۵/۷۷	۴/۳۶	۴/۹	۳/۷
میانگین روزانه	۳/۲۶	۲/۵۳	۲/۸۱	۲/۱۹
کل	۱۴۶/۶	۱۱۴/۰۵	۱۲۶/۳۷	۹۸/۴۵

جدول ۶- نتایج آزمون t-test برای نیاز آبی

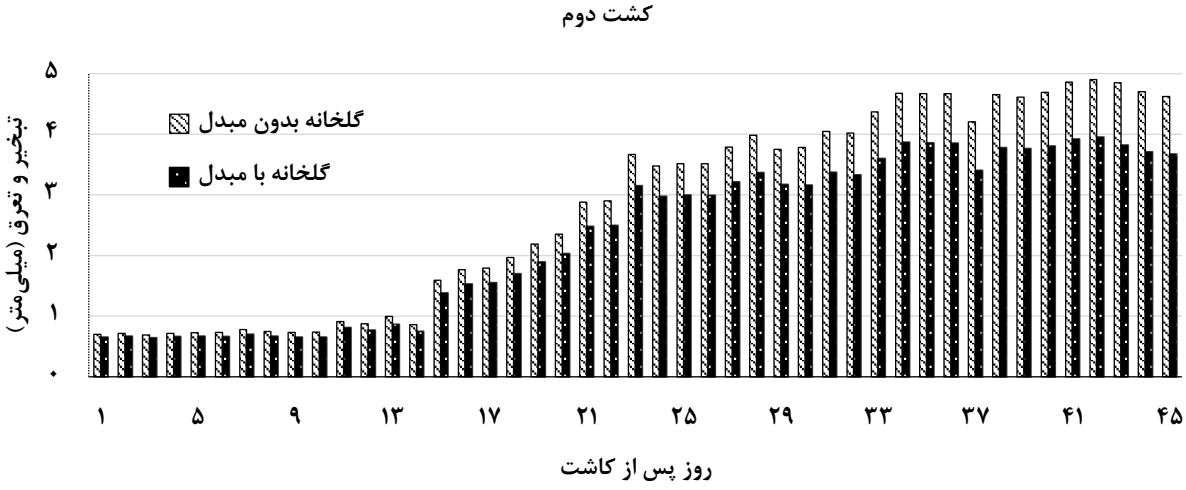
کشت	df	P	t
اول	۸۸	<۰/۰۵	۲/۰۶۹
دوم	۸۸	<۰/۰۵	۲/۰۶۳

خلاصه نتایج حاصله در قالب درصد اختلاف نیاز آبی گیاه ریحان در دو گلخانه بدون مبدل حرارتی و مجهز به مبدل حرارتی در طول دو دوره کشت، در شکل (۷) ارائه شده است. روند درصد اختلاف حاکی از آن است که در هر دو دوره با گذشت زمان و

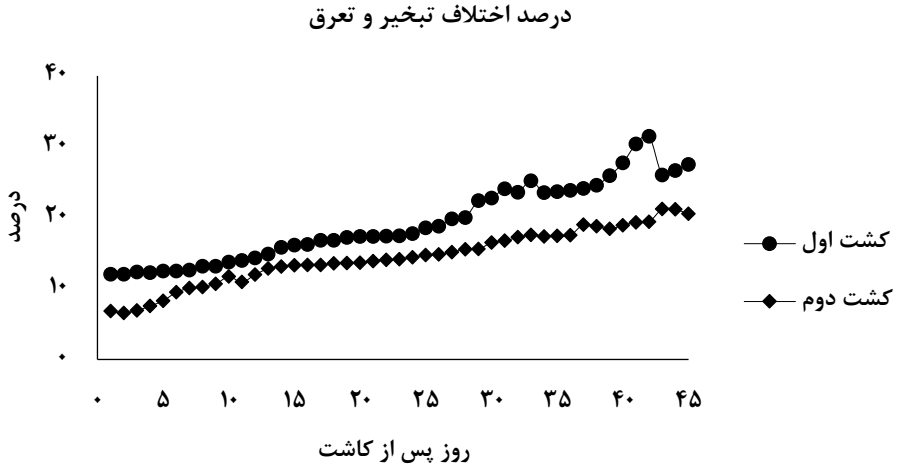
نزدیک شدن به مراحل میانی رشد و افزایش تبخیر- تعرق، اختلاف نیاز آبی هم افزایش یافت.



شکل۵- تغییرات روزانه نیاز آبی محصول ریحان در دوره کشت اول



شکل ۶- تغییرات روزانه نیاز آبی محصول ریحان در دوره کشت دوم



شکل ۷- درصد اختلاف نیاز آبی ریحان در دو گلخانه مجهز به مبدل حرارتی و بدون مبدل حرارتی در دو دوره کشت

بررسی نتایج حاصله از این مطالعه با تحقیقات مشابه صورت گرفته روی گیاه ریحان، حاکی از مطلوبیت کاهش میزان نیاز آبی

محصول در کشت گلخانه‌ای مجهز به مبدل حرارتی است. به طوریکه در مطالعه (Ebrahimi *et al*., 2018) میزان نیاز آبی گیاه ریحان را در دوره کشت ۴۵ روزه در حدود ۴ میلی‌متر در روز و در تحقیقی دیگر مقدار نیاز آبی در شرایط کشت کنترل شده، در حدود ۵ میلی‌متر در روز گزارش شد (Rahimikhoob *et al*, 2019). همچنین در مطالعه‌ای که با هدف اندازه‌گیری نیاز آبی ریحان با استفاده از لایسیمتر زهکش‌دار در شرایط کشت فضای باز در مزرعه تحقیقاتی در کرمانشاه انجام شد، نیاز آبی گیاه ریحان در طول ۹۴ روز داده‌برداری برابر با ۶۳۶/۸ میلی‌متر (برابر با ۶/۷ میلی‌متر در روز) برآورد شد (Ghamarnia *et al*., 2015). در مطالعه دیگری در محیط گلخانه میزان نیاز آبی گیاه ریحان بین ۲/۹۸ تا ۴/۸۷ میلی‌متر در روز گزارش شد (Daza-Torres *et al*., 2017). این در حالی‌است که مقدار حداکثر نیاز آبی ریحان در کشت گلخانه‌ای مجهز به مبدل حرارتی در دو دوره کشت به ترتیب برابر ۴/۳۶ و ۴/۱۶ میلی‌متر در روز برآورد شد.

تأثیر مبدل حرارتی و دوره کشت بر عملکرد گیاه ریحان

نتایج اندازه‌گیری عملکرد گیاه ریحان در این تحقیق نشان داد که این گیاه در هر دو گلخانه مجهز به مبدل و بدون مبدل حرارتی، تقریباً عملکرد یکسانی دارد که با توجه به نیاز آبی پایین‌تر در گلخانه مجهز به مبدل حرارتی، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از مبدل در این مطالعه باعث افزایش بهره‌وری آب (نسبت عملکرد محصول به آب آبیاری) شد. همچنین طبق نتایج عملکرد محصول در دوره کشت اول نسبت به دوره کشت دوم بیشتر بود. عملکرد خشک برگ و پیکر رویشی در دوره اول کشت برای گلخانه مجهز به مبدل حرارتی به ترتیب برابر با ۶۷۵ و ۲۱۳۷ کیلوگرم بر هکتار و در گلخانه بدون مبدل حرارتی عملکرد خشک برگ و پیکر رویشی ۶۶۴ و ۲۱۲۱ کیلوگرم بر هکتار بودند. در دوره کشت دوم مقدار عملکرد خشک برگ و پیکر رویشی برای گلخانه مجهز به مبدل برابر با ۵۴۷ و ۱۸۲۹ کیلوگرم بر هکتار و برای گلخانه بدون مبدل برابر با ۵۴۳ و ۱۸۲۱ کیلوگرم بر هکتار بدست آمدند. در مطالعه دیگر، بیشترین عملکرد محصول (پیکر رویشی) ریحان در گلخانه شیشه‌ای (واقع در دانشگاه کردستان) برابر ۲۸۵۰ کیلوگرم بر هکتار با تبخیر- تعرق ۳۷۴ میلی‌متر گزارش شد (Hamzezadeh *et al*., 2011).

نتیجه‌گیری

این تحقیق به بررسی تأثیر استفاده از هوای خروجی از مبدل حرارتی برای خنک‌سازی محیط گلخانه بر میزان نیاز آبی گیاه ریحان، پرداخته است. بدین منظور قبل شروع آزمایش، ابعاد بهینه مبدل حرارتی با تعریف تیمارهای مختلف و انجام آزمایش‌های لازم انتخاب گردید. این تحقیق طی دو دوره کشت و در دو گلخانه مجهز به مبدل حرارتی و بدون مبدل حرارتی انجام شد. نتایج نشان داد که ورود هوای خنک خروجی از مبدل به داخل محیط گلخانه بر میزان نیاز آبی گیاه ریحان تأثیرگذار است و طی هر دو دوره کشت، باعث کاهش معنی‌دار میزان آب مصرفی شد. به‌طوری‌که حداکثر درصد اختلاف نیاز آبی ریحان در دو گلخانه مجهز به مبدل حرارتی و بدون مبدل حرارتی در دو دوره کشت در دامنه ۳۲-۲۱ درصد در اواخر مراحل میانی رشد، و حداقل آن در دامنه ۱۲-۶/۵ درصد در اوایل دوره رشد، قرار گرفت.

استفاده از مبدل حرارتی با دو هدف تولید آب از طریق چگالش و هم برای خنک‌سازی نتایج مناسبی در این تحقیق داشت که پیشنهاد می‌شود با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی، به منظور کاهش مصرف آب برای تأمین نیاز آبی محصول و خنک‌سازی محیط گلخانه در مناطقی با آب و هوای مشابه با منطقه مورد مطالعه در این تحقیق و گیاه ریحان، استفاده شود. پیشنهاد می‌شود کارایی این سیستم به صورت جایگزین سیستم پوشال و پنکه نیز مورد بررسی قرار گیرد و تأثیر استفاده از مبدل حرارتی مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود برای سایر محصولات گلخانه‌ای و یا مناطقی با آب و هوای متفاوت نیز استفاده از مبدل حرارتی در گلخانه بررسی شود.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

Ahmed, E. A., Hassan, E. A., Tobgy, K.M. and 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.

Alcamo, J., Flörke, M. and Märker M. (2007). Future Long Term Changes in Global Water Resources Driven by Socio- Future long-term changes in global water resources driven by socio economic and climatic changes. Hydrological Sciences Journal, 57(2), 247-275.

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, 653–664.

Al-Nasser, A. Y. and Bhat, N. (1998). Protected Agriculture in State of Kuwait. Protected Agriculture in the Arabian Peninsula, 15-18 Feb., Proceedings of an international Workshop, Doha, Qatar, pp. 17-26

Anifantis, A.S., Colantoni, A., Pascuzzi, S. (2017). Thermal energy assessment of a small scale photovoltaic, hydrogen and geothermal standalone

greenhouse in desalination and economics. 5-7 Nov., Seventeenth International Water Technology Conference. Istanbul, Turkey, pp. 1-16.

Kabeel, A. E. and Emad, M. S. El-Said. (2015). Water production for irrigation and drinking needs in remote arid communities using closed-system greenhouse: A review. Engineering Science and Technology, 18(2), 294-301.

Levidow, L., Pimbert, M. and Vanloqueren, G. (2014). Agroecological research: Conforming – or transforming the dominant agro-food regime? Agroecology and Sustainable Food Systems, 38(10), 1127–1155.

Madani, K., AghaKouchak, A. and Mirchi, A. (2016). Iran's socio-economic drought: challenges of a water bankrupt nation. Iran Stud, 49(6), 997–1016.

Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? Journal of Environmental Studies and Sciences. 4(4), 315–328.

Makenney, M.S. and Norman, J.R. (1993). Sensitivity of some potential evapotranspiration estimation methods to climate change. Agricultural and Forest Meteorology, 64(1-2), 81-110.

Nguyen, P.M., Kwee, E.M. and Niemeyer, E.D. (2010). Potassium rate alters the antioxidant capacity and phenolic concentration of basil (Ocimum basilicum L.) leaves. Food Chemistry, 123(4), 1235–1241.

Roudi-Fahimi, F., Creel, L. and De Souza, R-M. (2002). Finding the balance: Population and water scarcity in the Middle East and North Africa. Popul Ref Bur Policy Br. 1-8.

Salih, A.M.A. and Sendil, U. (1984). Evapotranspiration under extremely arid climates. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 110(3), 289-303.

Salehi, G.R., Ahmadpour, M. and Khoshnazar, H. (2011). Modeling of the Seawater Greenhouse Systems. Solar Thermal Application. 8-13 May., World Renewable Energy Congress, Linkoping, Sweden, pp. 3733-3740.

Tahri, T., Douania, M., Amouraa, M. and Bettahar,A. (2016). Study of influence of operational parameters on the mass condensate flux in the condenser of seawater greenhouse at Muscat, Oman. Desalination and Water Treatment, 57(30).1-8.

system for greenhouse heating. Renewable Energy. 103, 115-127.

Ashraf, B., Yazdani, R., Mousavi-Baygi, M. and Bannayan, M. (2014). Investigation of temporal and spatial climate variability and aridity of Iran. Theor Appl Climatol, 118(1), 35–46.

Boguslaw, U. and Lukasz, U. (2004). Thermal conductivity of soils-comparison of experimental results and estimation methods. Institude of Agrophysics, Polish Academy of Sciences, ul, Doswiadczalna 4, 20-290 Lublin 27.

Cengel, Y. A. and Ghajar, A. J. (2015). Heat and Mass Transfer (5 th ed.). Nevada: Reno.

Daza-Torres, M.C., Arias-Prado, P.C., Reyes-Trujillo, A. and Urrutia-Cobo, N. (2017). Basil (Ocimum basilicum L) water needs calculated from the crop coefficient. Ingeniería e Investigación, 37(3), 8-16.

Ebrahimi, M., Rezaverdinejhad, V., Besharat, S. and 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).

Ghamarnia, H., Amirkhani, D. and 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.

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).

Hirich, A. and Choukr-Allah, R. (2017). Water and Energy Use Efficiency of Greenhouse and Net house Under Desert Conditions of UAE: Agronomic and Economic Analysis. Water Resources in Arid Areas, 481-499.

Hossein Khani, A. (2016). Manufacturing and simulation of a solar humidification-dehumidification desalination system. MsC thesis, Kerman Graduate University of Technology. (In Farsi).

Kabeel, A. E. and Almagar, A. M. (2013). Seawater