

The Amount of Fresh Water Production in Solar Distillers Connected to the Greenhouse to Provide Water Requirement of Basil Crop in Ahvaz

LEILA GHASSEMI¹, SAEED BOROOMANDNASAB^{1*} AND ABDOLRAHIM HOOSHMAND³

1. PhD student, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2. Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3. Associate Professor, Irrigation and Drainage Department, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

(Received: Dec. 22, 2018- Revised: Feb. 4, 2019- Accepted: Feb. 6, 2019)

ABSTRACT

Desalination of salty and unconventional water is an opportunity for sustainable development especially in arid and semi-arid regions. In this research, a greenhouse was constructed at Shahid Chamran University of Ahvaz and six solar distiller devices mounted on it. Its four devices were mounted on the roof and two other devices on the south wall of the greenhouse and used for desalination of saline water. Total amount of fresh water of six distillers was calculated on a daily basis. To estimate greenhouse evapotranspiration, a small evaporation pan and a soil water balance method were used. The effect of some meteorological parameters on the daily production of fresh water was investigated. The purpose of this research was to determine the fraction of fresh water produced by distillers to the basil crop water requirement in the greenhouse. Daily and periodic measurements of fresh water production were compared with daily and seasonal evapotranspiration of basil crop. The results showed that the average of basil evapotranspiration in the four stages of plant growth is respectively 1.97, 7.03, 8.22 and 8.11 mm/day. By increasing solar radiation and temperature and reducing cloudiness and precipitation, the fresh water production was increased. Wind speed and horizontal visibility have less effect on the fresh water production. The produced fresh water of six distillers during the four stages growing period of basil crop was measured to be 3.52, 4.62, 5.47 and 5.42 liters per day, respectively. Therefore, the produced fresh water at the beginning stage was 1.79 times of the basil ET and from the second to fourth stages it was about 0.67 of basil evapotranspiration. Evapotranspiration of basil plant during the 100 days of growing season, from April 21, 2018 to July 29, 2018, was measured to be 678.9 millimeter, of which %72 (488 liters per square meter sandy bed) was supplied by distillers.

Keywords: Basil evapotranspiration, Greenhouse, Production of freshwater, Solar distiller

مقدار تولید آب شیرین در تقطیرگرهای خورشیدی متصل به گلخانه برای تأمین نیاز آبی گیاه ریحان در اهواز

لیلا قاسمی^۱، سعید برومندنسب^{۲*}، عبدالرحیم هوشمند^۳

۱. دانشجو دکتری، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران،

۲. استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

۳. دانشیار، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۱۱/۱۷)

چکیده

نمک‌زدایی از آب‌های شور و نامتعارف فرصتی برای توسعه پایدار به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود. در این تحقیق یک گلخانه در دانشگاه شهید چمران اهواز ساخته شد و شش دستگاه تقطیرگر خورشیدی روی آن نصب گردید. چهار دستگاه آن روی سقف و دو دستگاه دیگر روی دیواره جنوبی گلخانه نصب شدند و به منظور نمک‌زدایی از آب شور استفاده گردیدند. مجموع تولید آب شیرین شش تقطیرگر، به صورت روزانه محاسبه گردید. برای برآورد تبخیر- تعرق گلخانه از تشت تبخیر کوچک و روش موازنه آب خاک استفاده شد. تأثیر برخی پارامترهای هواشناسی روی تولید روزانه آب شیرین بررسی شد. هدف تحقیق حاضر این بود که کسر آب شیرین تولیدی به روش تقطیر نسبت به تبخیر- تعرق گیاه ریحان در این گلخانه تعیین شود. اندازه‌گیری‌های روزانه و دوره‌ای تولید آب شیرین با تبخیر- تعرق روزانه و فصلی گیاه ریحان مقایسه شدند. نتایج نشان داد که میانگین تبخیر- تعرق گیاه ریحان در چهار مرحله رشد گیاه به‌ترتیب ۱/۹۷، ۷/۰۳، ۸/۲۲ و ۸/۱۱ میلی‌متر در روز است. با افزایش تشعشع خورشید و دما، کاهش ابرناکی و بارندگی، تولید آب شیرین افزایش یافت. سرعت باد و دید افقی بر روی تولید آب شیرین، تأثیر کم‌تری داشتند. میانگین تولید آب شیرین هر شش تقطیرگر متصل به گلخانه در چهار مرحله رشد گیاه به‌ترتیب ۳/۵۲، ۴/۶۲، ۵/۴۷، ۵/۴۲ لیتر در روز به‌دست آمد. بنابراین آب تولیدی در ابتدای مرحله رشد معادل ۱/۷۹ برابر تبخیر- تعرق گیاه ریحان بوده و از مرحله دوم تا چهارم، تولید آب حدود ۰/۶۷ تبخیر- تعرق گیاه ریحان بود. تبخیر و تعرق گیاه ریحان در طول فصل رشد به مدت ۱۰۰ روز، در تاریخ یک اردیبهشت ۱۳۹۷ تا هفت مرداد ۱۳۹۷، ۶۷۸/۹ میلی‌متر به‌دست آمد که ۷۲٪ آن توسط تقطیرگرها با تولید ۴۸۸ لیتر برای مساحت یک مترمربع بستر کشت شنی، تأمین گردید.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق ریحان، تقطیرگر خورشیدی، تولید آب شیرین، گلخانه

مقدمه

زیرزمینی می‌شود. این اراضی با کاهش سطح ایستایی و افزایش شوری مواجه هستند (Chaibi, 2013). گروه مشاورین تحقیقات کشاورزی بین‌الملل (CGIAR)^۱ اذعان دارند که اگر همه کارهایی که منجر به افزایش راندمان آبیاری و بهبود در بهره‌وری کشاورزی می‌شوند انجام شوند، بشریت حداقل به ۱۷٪ آب شیرین بیشتر برای تهیه نیازهای غذایی خود دسترسی پیدا می‌کنند. تنها راه برای تولید آب شیرین بیشتر، نمک‌زدایی از آب‌های شور است (Lindblom and Nordell, 2007). روش‌های متداولی که برای تأمین آب شرب در مناطق خشک به کار گرفته می‌شوند، استفاده از سیستم‌های معمول آب‌شیرین‌کن هستند که مشکلات تأمین انرژی مورد نیاز، فناوری بالا، هزینه‌های بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری، ظرفیت بالا و عدم کاربری آن برای مناطق کم‌جمعیت باعث می‌شوند که استفاده از این سیستم‌ها در مناطق روستایی

امروزه سرزمین‌های خشک از منظر منابع آب در اختیار، با مشکلات بیشتری نسبت به گذشته مواجه هستند. به نظر می‌آید بیابان‌های شنی رو به گسترش بوده و خشک‌سالی‌ها در خرابی اقتصاد تمامی کشورها سهیم هستند. بخش کشاورزی، ۷۰٪ آب شیرین را در جهان مصرف می‌کند، درحالی‌که این مقدار در مناطقی مانند خاورمیانه و آفریقای شمالی که از کمبود شدید آب رنج می‌برند، به بیش از ۹۰٪ نیز می‌رسد (Bourouni et al., 2011). محدودیت منابع آب باعث می‌شود که از آب‌های با کیفیت پایین استفاده شود. فاضلاب‌های شهری، پساب‌های کشاورزی و آب‌های زیرزمینی شور منابع آب با کیفیت پایین مورد استفاده در کشاورزی هستند. استفاده از آب‌های با کیفیت پایین باعث کاهش محصول و زیان به محیط‌زیست، خاک و سفره‌های آب

مهم‌ترین و سودمندترین سیستم‌های کشاورزی است. به همین دلیل در دهه‌های اخیر سطح گلخانه‌ها به خصوص در مناطق خشک با محدودیت‌های شدید آب، افزایش یافته است (Reca *et al.*, 2018).

به جای تولید مقدار زیاد آب آبیاری در دستگاه‌های تقطیر مدرن، می‌توان از سیستم‌های تقطیرگر خورشیدی متصل به گلخانه که در مقیاس کم اما ارزان و ساده آب آبیاری را تولید می‌نمایند، بهره برد. دو نوع اساسی گلخانه متصل به دستگاه‌های تقطیرگر که در مناطق کم‌آب، کاربرد وسیعی دارند، سیستم‌های تقطیرگر خورشیدی و سیستم‌های نمک‌زدایی رطوبت‌زا و رطوبت‌زا هستند (Kabeel and Almagar, 2013). آبیاری تقطیری و تجهیز گلخانه‌ها به دستگاه تقطیر، روش‌های نوینی است که با استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشید عمل می‌کنند. با استفاده از این روش‌ها می‌توان آب‌های آلوده و شور را منبع جدیدی برای آب‌های شیرین در نظر گرفت. آبیاری تقطیری (DI¹) روش آبیاری گیاهان با استفاده از آب‌های شور و نامتعارف است. این روش با استفاده از ترکیب تقطیر خورشیدی و آبیاری قطره‌ای هم‌زمان، آب را نمک‌زدایی کرده و در اختیار گیاه قرار می‌دهد (Boroomandnasab؛ Lindblom and Nordell, 2006؛ Yousefi *et al.*, 2010؛ and Yousefi, 2016؛ Yousefi *et al.*, 2011).

ترکیب دستگاه تقطیر با گلخانه اولین بار توسط Trombe and Foex (1961) طراحی شد و سپس نسخه‌های اصلاح شده آن به‌وسیله Boutiere (1972) و Bettaque and Naegel (1999)، توسعه یافتند (Yousefi, 2012؛ Chaibi, 2003). یک دستگاه تقطیرگر توسط Chaibi (2003) روی بام گلخانه نصب شد. این دستگاه شامل یک بام شیشه‌ای دوجداره شفاف بود که لایه داخلی بام شیشه‌ای با یک ماده سایه‌انداز پوشیده شده بود. آب شور روی این ماده سایه‌انداز بین دو لایه به سمت پایین جریان داشت. بخشی از تشعشع‌های زمینی جذب لایه داخلی بام می‌شد و آب شور تبخیر می‌گردید. بخار آب در سطح داخلی لایه بیرونی چگالش یافته و در امتداد شیشه به سمت پایین هدایت می‌شد و توسط شیارهایی برای آبیاری گیاه جمع‌آوری می‌گردید. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که اگر ۵۰ درصد سقف گلخانه به دستگاه تقطیر خورشیدی اختصاص یابد، این دستگاه ظرفیت تأمین نیاز سالانه گیاهان با کنوپی کم با یک ظرفیت تولید حدود ۱/۵ تا ۲ لیتر بر مترمربع در روز برای روزهای تابش بالا را دارد و در ابتدا و انتهای دوره فصل رویش، حدود ۲/۳ و ۱/۶ برابر از نیاز آبی محصول تجاوز می‌کند. در یک تحقیق دیگر از یک صفحه

غیرممکن گردد. بنابراین در تأمین آب شیرین برای چنین مناطقی باید به اقتصادی بودن سیستم آب‌شیرین‌کن، استفاده از آب‌شیرین‌کن‌هایی با قدرت تصفیه‌ی آب شور و جداسازی انواع نمک‌ها، میکروارگانیسم‌ها، باکتری‌ها، انگل‌ها و فلزات سنگین از آب، استفاده از منابع انرژی ارزان، سادگی سیستم و قابلیت استفاده‌ی آسان برای روستاهای محروم و هزینه‌های پایین ساخت، تعمیر و نگهداری توجه نمود. طبق بررسی‌های انجام شده تنها سیستمی که تمامی شرایط فوق را دارا باشد سیستم‌های آب‌شیرین‌کن خورشیدی هستند (Habibi, 2011). کشورهای گرم و خشکی که بیشتر در معرض خطر کمبود آب هستند، در عرض‌های جغرافیایی ۱۵ تا ۳۵ درجه شمالی واقع گردیده‌اند که عموماً شامل شمال آفریقا و جنوب آسیا می‌باشد (Husain, 2003). با این حال مناطق خشک از پتانسیل انرژی خورشیدی بالایی برخوردارند. از آنجایی که کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته (Afshaar *et al.*, 2013) و ۷۰٪ مساحت آن در مناطق خشک و نیمه‌خشک واقع گردیده است و در حال حاضر بحران جدی آب را تجربه می‌کند، با توجه به وجود دریای خزر در شمال و خلیج فارس و دریای عمان در جنوب آن، نمک‌زدایی آب دریا یکی از راه‌های خروج از این بحران است. سالیانه حدود ۱۲۰ میلیون مترمکعب آب شیرین از دستگاه‌های شیرین‌سازی مرسوم در مناطق سواحل جنوبی ایران تولید می‌شود. سیستم‌های شیرین‌سازی مبتنی بر انرژی‌های فسیلی در درازمدت برای غلبه بر بحران آب در کشور پایدار نیستند، زیرا هم باعث تخلیه منابع انرژی موجود شده و هم افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای را در پی دارند (Gorjian and Ghobadian, 2015). در صورتی که ایران با وجود ۳۰۰ روز آفتابی در بیش از دوسوم آن و متوسط تابش ۵/۵ - ۴/۵ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز (Afshaar *et al.*, 2013) پتانسیل انرژی خورشیدی بسیار بالایی را دارد که می‌تواند به طور مؤثری برای فرایندهای نمک‌زدایی آب به کار رود. بدین ترتیب هم مشکل کمبود آب حل خواهد شد و هم انتشار دی‌اکسید کربن کاهش خواهد یافت (Yousefi *et al.*, 2012؛ Mahmoudi *et al.*, 2010).

اگرچه هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه تقطیرگرهای خورشیدی بالا است و مساحت زیادی را اشغال می‌کنند، اما هزینه بهره‌برداری و نگهداری پایینی دارند (Bhattacharyya, 2013). هر چند تقطیرگرهای خورشیدی نمی‌توانند آب مورد نیاز گیاهان در مزرعه را فراهم نمایند، اما شاید بتوانند نیاز آبی محصولات گلخانه‌ای را تأمین نمایند. تولید سبزیجات گلخانه‌ای یکی از

آمده برای بررسی تأثیر پارامترهای چرخه بر روی تولید آب شیرین به صورت عددی تجزیه و تحلیل شد. نتایج تجزیه و تحلیل آن‌ها نشان داد که مقدار تولید آب به بیش از ۲۶۴/۸۶ کیلوگرم در روز رسیده و آب تولیدی می‌تواند از سوراخ‌های لوله‌ها عبور نموده و برای آبیاری ریشه‌های گیاه استفاده شود و یا به عنوان آب آشامیدنی جمع‌آوری گردد. آن‌ها این طرح چگالش زیرسطحی را یک استراتژی امیدوارکننده برای روش آبیاری زیرسطحی دانستند و ابراز داشتند که فرایند جدید به کشاورزان اجازه می‌دهد تا از آب شور برای کشاورزی با کاربرد انرژی خورشید به‌ویژه در مناطق خشک استفاده نمایند.

هرچند که تحقیقات بسیار زیادی در زمینه استفاده از انرژی خورشید به منظور نمک‌زدایی از آب در تقطیرگرها انجام شده است (Yelimezsay and Abdul-Hosseini *et al.*, 2018؛ Wahab, 2014؛ Velmurugan and Murugavel *et al.*, 2008؛ Srithar, 2011؛ Tabrizi and Sharak, 2014؛ Muftah *et al.*, 2014)، اما با توجه به بررسی مطالعات انجام شده توسط محققین (2010)، کمبود کار تحقیقاتی در زمینه سیستم‌های تقطیرگر خورشیدی به منظور آبیاری گیاهان و برآورد تبخیر و تعرق واقعی درون گلخانه‌ها احساس می‌گردد. همچنین با توجه به کمبود تحقیقات در ایران در زمینه تأمین نیاز آبی گیاهان با آب شیرین تولیدی از تقطیرگرهای خورشیدی، با توجه به پتانسیل بالای انرژی خورشید لزوم تحقیق در این زمینه ضرورتی اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد. بنابراین هدف تحقیق حاضر پاسخ به این سوال است که تولید آب شیرین به روش تقطیری در این گلخانه چند درصد از تبخیر و تعرق گیاه ریحان که گیاه پر مصرفی است را در شرایط آب و هوایی شهر اهواز، تأمین می‌نماید.

مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی طرح

شهر اهواز با موقعیت جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۶۵ دقیقه طول شرقی با ارتفاع ۱۲ متر از سطح دریا واقع شده است. متوسط بارندگی سالانه آن در طول دوره آماری بلندمدت برابر با ۲۱۳ میلی‌متر می‌باشد. متوسط درجه حرارت سالانه آن ۲۵ درجه سلسیوس است.

گلخانه و مخزن‌های تقطیرگر خورشیدی متصل به آن

در این تحقیق، گلخانه کوچکی (شکل ۱) به منظور تولید آب شیرین با روش تقطیری برای تأمین تمام یا بخشی از نیاز آبی محصولات گلخانه‌ای در دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه

تقطیرگر خورشیدی^۱ برای نمک‌زدایی از سه نوع آب منبع شامل آب دریا، آب زیرزمینی و زهاب کشاورزی توسط Mashaly *et al.* (2015) استفاده شد. برای برآورد نیاز آبی در گلخانه از دو روش پنمن مانیتیت اصلاح شده و روش فرناندز استفاده گردید. سه مدل آماری مشتق شده از نتایج آزمایشی برای برآورد سالیانه آب تولیدی سیستم تقطیرگر خورشیدی برای هر سه نوع آب تغذیه، به‌دست آمدند. آب‌های شیرین تولیدی که توسط سه آب تغذیه ورودی اندازه‌گیری شد، با نیازهای آبی برآورد شده توسط دو روش مذکور مقایسه گردید تا مساحت مورد نیاز سیستم تقطیرگر خورشیدی تعیین شود. نتایج نشان داد که روش پنمن مانیتیت می‌تواند برای برآورد نیاز آبی گیاهان در گلخانه‌ها به کار رود، به استثنای محاسبات ماه جولای در تولید آب شیرین از منبع آب زیرزمینی که از نیاز آبی با روش فرناندز کمتر بود. به طور کلی تولید آب در طول سال بیشتر از نیاز آبی بود و میانگین تولید آب شیرین از انواع آب تغذیه‌ای ۴/۷۹ لیتر در هر مترمربع در روز بود که از نیاز آبی دو روش پنمن مانیتیت و فرناندز با میانگین مقدار ۱/۸۸ لیتر در هر مترمربع در روز، بیشتر بود. نوع آب تغذیه کننده بر مقدار آب تولیدی تأثیر چندانی نداشت. آب تولیدی توسط یک مترمربع سیستم تقطیرگر خورشیدی قادر به تأمین نیاز آبی دو مترمربع از گلخانه بود. یک شرکت سوئسی سیستم آبیاری چگالشی را طراحی کرد که آب دریا درون لوله‌های پلاستیکی توسط انرژی خورشید تبخیر گردید و هوای گرم و مرطوب تولیدی توسط لوله‌های زهکش به عمق ریشه فرستاده شد و با چگالش آن، کاهش ۵۰ درصدی در مصرف آب گوجه‌فرنگی در این سیستم مشاهده شد (Hausherr and Ruess, 1993). یک بررسی جامع و به‌روز بر روی فناوری گلخانه‌ای دریایی (SWGH^۲) توسط Al-Ismaili and Jayasuriya (2016) انجام شد. همچنین به بررسی پیاده‌سازی سیستم SWGH در عمان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که عملکرد SWGH به عنوان یک سیستم ذخیره‌کننده آب، تقریباً ۶۷٪ نیاز آبی محصولات را در مقایسه با کشت فضای باز کاهش می‌دهد. تولید آب شیرین از SWGH در عمان، بین ۳۰۰ تا ۶۰۰ لیتر در روز به‌دست آمد. یک سیستم تقطیرگر خورشیدی با چرخه رطوبت‌ساز - رطوبت‌زدا (HD^۳) توسط Okati *et al.* (2016; 2018) طراحی گردید که در آن اتصال یک تقطیرگر خورشیدی (به عنوان رطوبت‌ساز) و یک فرایند جدید چگالش زیرسطحی (لوله‌های مدفون در زیر خاک به عنوان رطوبت‌زدا یا چگالنده) را بررسی نمودند. موازنه جرم و انرژی برای رطوبت‌ساز خورشیدی و چگالنده زیرسطحی در تجزیه و تحلیل‌های ترمودینامیکی سیستم نوشته شد. معادله‌های غیرخطی به‌دست

تا ارتفاع هفت سانتی‌متر پر گردیدند و بر اثر انرژی گرمایی دریافتی از خورشید آب شور موجود در آن‌ها به بخار تبدیل شده و روی سقف شیب‌دار آن‌ها تبدیل به آب شیرین شده و توسط کانال شیب‌دار به لوله‌های جمع‌آوری‌کننده آب شیرین متصل شده و وارد مخزن اندازه‌گیری آب شیرین گردیدند. مساحت کف مخزن‌های آب شور واقع در سقف گلخانه یک مترمربع با طول و عرض مساوی یک متر و شیب سقف آن زاویه ۳۷ درجه با افق (۵۳ درجه با دیواره قائم) می‌سازد. با توجه به طول بیش از ۱/۵ متر سقف شیب‌دار، به نظر می‌رسید که این زاویه برای انتقال قطره‌های چسبیده شده به آن تا سطح پایین‌تر، به اندازه کافی مؤثر است. به منظور جذب و تمرکز بیشتر پرتوهای خورشید از شیشه‌های سیاه‌رنگ در کف مخزن‌ها استفاده شد و در پشت مخزن‌ها آئینه تخت نصب گردید. طول دو مخزن دیواره جنوبی گلخانه در سرتاسر دیواره آن کشیده شد و طول و عرض هر کدام چهار متر و ۳۰ سانتی‌متر بود و شیب سقف آن‌ها ۴۵ درجه بود. به طور کلی همه تقطیرگرهای خورشیدی روی خود گلخانه نصب شدند و هیچ‌گونه فضایی از زمین اطراف را اشغال ننمودند. تولید روزانه آب شیرین حاصل از این تقطیرگرها در ظرف مدرج جمع‌آوری و اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری مجزای آب شیرین تولیدی هر تقطیرگر، یک شیر آب در مسیر لوله جمع‌کننده آب شیرین هر مخزن قرار داده شد.

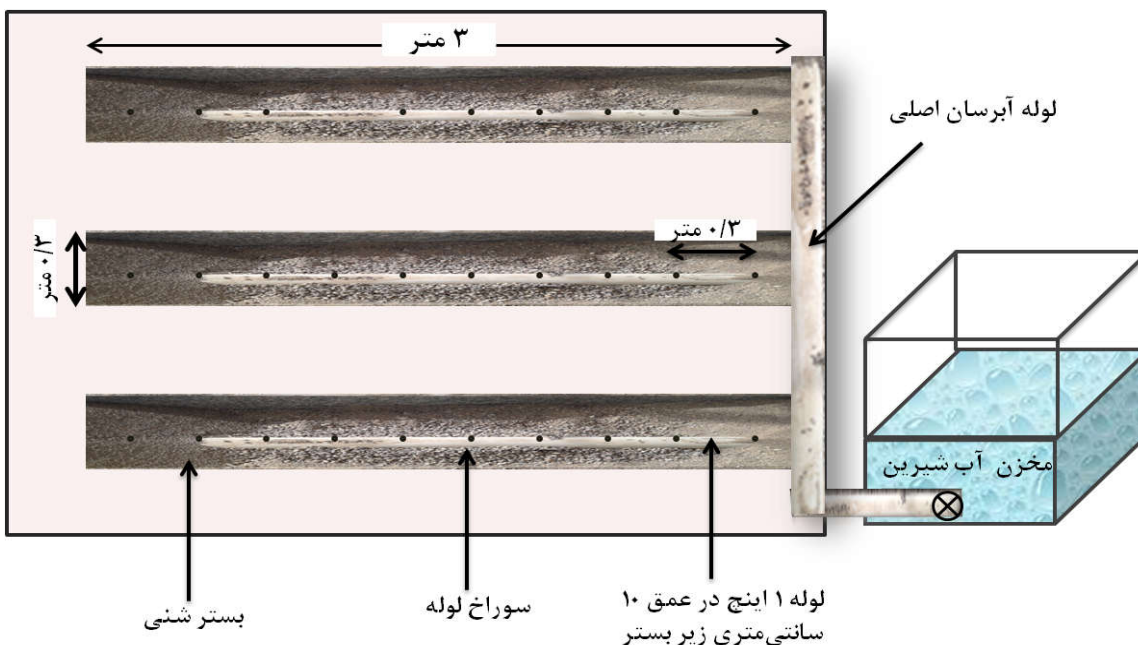
تأثیر برخی پارامترهای آب و هوایی مانند تشعشع خورشید، دما، ابرناکی، بارندگی، سرعت باد و دید افقی بر مقدار تولید روزانه آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی متصل به گلخانه بررسی گردید. جهت داده‌های پارامترهای هواشناسی از ایستگاه سینوپتیک اهواز در مدت طرح (۱۳۹۷/۰۲/۰۱ تا ۱۳۹۷/۰۵/۰۷) استفاده شد.

شهید چمران اهواز ساخته شد. گلخانه از جنس شیشه و فلز در دیواره‌ها و برای پوشش سقف در قسمت‌هایی که مخزن آب شور وجود نداشت، از پلی‌کربنات استفاده شد. مساحت گلخانه ۱۶ مترمربع با طول و عرض چهار متر و ارتفاع آن از سطح بستر دو متر است. طول ردیف‌های کشت سه متر و عرض آن‌ها ۳۰ سانتی‌متر با عمق ۴۰ سانتی‌متر که برای این تحقیق سه ردیف با بستر شنی پر گردیدند. برای آبیاری بسترها در ۱۰ سانتی‌متری زیر هر بستر یک لوله یک اینچ زهکش‌دار با فاصله سوراخ‌ها ۳۰ سانتی‌متر جایگذاری شد که به لوله آبرسان اصلی متصل شدند. لوله آبرسان اصلی متصل به مخزن جمع‌آوری آب شیرین بود که در مواقع لزوم و بسته به نیاز گیاه با آب شور یا لب‌شور مخلوط گردید. شکل شماتیک بستر کشت و لوله‌های جایگذاری شده در آن در شکل (۲) نشان داده شده است.

به طور کلی شش تقطیرگر خورشیدی ساده به این گلخانه متصل شدند که چهار تقطیرگر در سقف گلخانه و دو دستگاه دیگر در دیواره جنوبی آن نصب شدند. دو دستگاه از تقطیرگرهای سقف با جهت شیب شمالی- جنوبی و دو تای دیگر با جهت شیب جنوبی- شمالی ساخته شدند. طبق تحقیقات گذشته جهت شیب تقطیرگرهای خورشیدی رو به جنوب برای تولید بیشتر شیرین در عرض‌های جغرافیایی شمالی پیشنهاد شده است (Abderachid and Abdenacer, 2013). اما برای تحقیقات بیشتر در آینده با هدف بررسی تفاوت مقدار تولید آب شیرین بین تقطیرگرها با دو جهت شمالی- جنوبی و جنوبی- شمالی در تابستان و زمستان در شهر اهواز، دو دستگاه از تقطیرگرهای سقف این گلخانه با جهت جنوبی- شمالی ساخته شدند. همچنین شیب تقطیرگرهای دیواره جنوبی، شمالی- جنوبی ساخته شد. تقطیرگرهای خورشیدی در این گلخانه در واقع مخزن‌های محصور شیشه‌ای هستند که با آب شور پنج دسی‌زیمنس بر متر



شکل ۱. نمایی از گلخانه با چهار دستگاه تقطیرگر خورشیدی در سقف و دو دستگاه در دیواره جنوبی آن



شکل ۲. شکل شماتیک بستر کشت و لوله‌های جایگذاری شده در آن

عملیات کاشت

در این گلخانه گیاه ریحان به مدت ۱۰۰ روز در تاریخ یک اردیبهشت ۱۳۹۷ کشت شد و در هفت مرداد ۱۳۹۷ برداشت گردید. تولید آب شیرین در تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه نیز به طور هم‌زمان انجام شد. بذر ریحان در ردیف‌های کشت به فاصله ۱۵ سانتی‌متر از یکدیگر و در عمق ۱ سانتی‌متری کشت گردید. خاک مورد استفاده شن و کلاس بافت آن به روش هیدرومتری در آزمایشگاه تعیین شد. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بستر کشت در جدول (۱) آمده است. برای تعیین عمق آبیاری، رطوبت خاک در حالت ظرفیت زراعی و نقطه پژمردگی تعیین شد. منبع آب آبیاری علاوه بر آب شیرین تولیدی، آب لوله‌کشی شده نزدیک گلخانه بود. هدایت الکتریکی آب لوله‌کشی ۱۹۰۰ میکرو زیمنس بر متر و هدایت الکتریکی آب شیرین تولیدی ۳۲ میکرو زیمنس بر متر اندازه‌گیری شد. آبیاری بر اساس تبخیر از تشت تبخیر کوچک مستقر در گلخانه انجام گرفت. قرائت تشت تبخیر هر روز رأس ساعت ۸ صبح انجام شد. آبیاری طبق رابطه (۱) محاسبه گردید و با توجه به مساحت بستر در اختیار آن قرار گرفت (Blanco and Folegatti, 2003).

$$ET_c^* = CK_c K_p E_{rpan} \quad (\text{رابطه ۱})$$

که در آن ET_c^* : تبخیر و تعرق گیاه (میلی‌متر)، C : ضریب اصلاحی برای تبدیل تبخیر از تشت کوچک به تبخیر از تشت کلاس A ($C=0.88$; Blanco and Folegatti, 2003)، K_c : ضریب

گیاهی (بدون بعد)، K_p : ضریب تشت تبخیر (بدون بعد) و E_{rpan} : تبخیر از تشت کوچک (میلی‌متر).

ضریب تشت کوچک بر اساس پیشنهاد Blanco and Folegatti (2003) معادل 0.88 و ضریب تشت تبخیر کلاس A درون گلخانه با پوشش شیشه بر اساس پیشنهاد Amiri et al. (2011) معادل یک در نظر گرفته شد. در این طرح ضریب‌های گیاهی ارائه شده در فضای باز برای آبیاری انتخاب شدند و توسط اندازه‌گیری رطوبت در عمق ۳۰ سانتی‌متری اصلاح گردیدند. اگر رطوبت در این عمق، ۲۴ ساعت پس از آبیاری در محدوده ۷۵ تا ۹۰ درصد رطوبت ظرفیت زراعی بود، ضریب گیاهی انتخابی تغییر داده نمی‌شد. اما اگر از این مقدار کمتر بود، ضریب گیاهی در آبیاری بعدی افزایش داده می‌شد و بالعکس.

روش تبخیر از تشت فائو ۲۴ با ضریب تشت ثابت معادل 0.79 ، تبخیر و تعرق مرجع گلخانه‌های با پوشش پلاستیکی تحت شرایط آب و هوای مدیترانه‌ای را به خوبی تخمین می‌زند (FAO, 2013). ضریب تشت در یک گلخانه با پوشش پلاستیک در ماهان کرمان، 0.73 به دست آمد (Akbarifard et al., 2016).

در تحقیقی که توسط Blanco and Folegatti (2003) صورت گرفت، برای تخمین تبخیر و تعرق درون گلخانه‌ای از جنس پلی‌اتیلن، از تشت تبخیر کوچک استفاده نمودند و ضریب 0.88 را برای تبدیل تبخیر از تشت کوچک به تشت کلاس A به کار بردند. آن‌ها در محاسبات خود ضریب تشت کلاس A را برابر یک در نظر گرفتند. همچنین برای محاسبه آب آبیاری از ضریب

افزایش می‌یافت. به عبارت دیگر اگر تانسیموتر در عمق ۰/۳ متر، بیش‌آبیاری را در روز قبل نشان می‌داد، ضریب گیاهی انتخابی در آبیاری بعدی کاهش می‌یافت.

گیاهی خیار در فضای باز استفاده نمودند و آن را توسط قرائت تانسیموتر در عمق ۰/۳ متر اصلاح نمودند. اگر ۲۴ ساعت پس از آبیاری، رطوبت خاک از ظرفیت زراعی کمتر بود، در آبیاری بعدی مقدار ضریب گیاهی افزایش داده می‌شد. بنابراین عمق آبیاری

جدول ۱. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک شنی

رطوبت حجمی اولیه (درصد)	pH	EC ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	تخلخل (درصد)	جرم ویژه ظاهری (g/cm^3)	بافت خاک	درصد شن	درصد رس	درصد سیلت
۰/۶	۷/۴	۶/۳	۳۳/۷	۱/۸۵	شنی	۹۳	۲	۵

کود دهی دو روز قبل از کاشت ریحان توسط کود پوسیده گوسفندی به میزان ۳ کیلوگرم در ۱۵ سانتی‌متری سطح بالایی هر بستر به مساحت ۰/۹ مترمربع گسترده و مخلوط گردید. هم‌زمان محرک زیستی (محرک رشد گیاه) به میزان ۵ لیتر در هکتار به توصیه شرکت تولیدکننده استفاده شد. درصد عناصر مختلف در محرک زیستی در جدول (۲) آورده شده است.

با توجه به بافت شنی بستر کشت و حداکثر میزان تبخیر و تعرق گیاه، دور آبیاری در طول فصل رشد ثابت و یک روزه در نظر گرفته شد. رطوبت خاک قبل از آبیاری و یک ساعت پس از آن توسط رطوبت‌سنج خاک مدل Lutron PMS-714 در عمق توسعه ریشه که برای ریحان ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد، در ابتدا، وسط و انتهای بستر اندازه‌گیری و از آن‌ها میانگین‌گیری شد.

جدول ۲. مقدار عناصر موجود در محرک رشد زیستی

عناصر موجود در ریایی	عصاره جلبک هیومیک	فولیک	پلی‌ساکاریدها	آمینواسیدها، ویتامین‌ها	ازت	فسفر	پتاسیم	عناصر میکرو: آهن، روی، منگنز، مس، مولیبدن، بر و کلسیم
مقدار (%)	۳/۷	۷/۸	۳/۴	۲/۴	۳/۲	۱/۴	۲/۶	۶/۷

پارامتر بارندگی و رواناب حذف شده و از آنجایی که در این پژوهش مقدار رطوبت در ناحیه توسعه ریشه در حد ظرفیت زراعی و کمتر از آن است، می‌توان از تلفات نفوذ عمقی صرف‌نظر کرد. مقدار رواناب سطحی و تغییرات جریان زیرسطحی نیز صفر در نظر گرفته شد همچنین به دلیل استفاده از شن به عنوان بستر کشت و به دلیل پایین بودن نیروی کاپیلاری در این بستر، می‌توان از آن صرف‌نظر نمود و رابطه (۲) به صورت رابطه (۴) ساده می‌شود.

$$ET_c = I \pm \Delta_{sw} \quad (\text{رابطه ۴})$$

برای تعیین ضریب گیاهی ریحان از رابطه (۵) استفاده شد.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_0(\text{pan})} \quad (\text{رابطه ۵})$$

که در آن k_c : ضریب گیاهی بی‌بعد، ET_c : تبخیر - تعرق واقعی، $ET_0(\text{pan})$: تبخیر - تعرق مرجع از تشت کوچک (mm/day).

برای تبخیر و تعرق مرجع از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$ET_0(\text{pan}) = CK_p E_{rpan} \quad (\text{رابطه ۶})$$

که پارامترهای آن در رابطه (۱) بیان گردید.

برآورد تبخیر و تعرق واقعی گیاه ریحان

تبخیر و تعرق واقعی گیاهان را می‌توان توسط اندازه‌گیری اجزای مختلف موازنه آب خاک به‌دست آورد. در این روش مطابق رابطه (۲) فرض شده که شار آب ورودی و خروجی به ناحیه ریشه گیاه در دوره زمانی مشخص است (Allen et al., 1998).

$$ET_c = I + P - RO - DP + CR \pm \Delta_{sf} \pm \Delta_{sw} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن I: آبیاری (میلی‌متر)، P: بارندگی (میلی‌متر)، RO: رواناب سطحی (میلی‌متر)، DP: نفوذ عمقی (میلی‌متر)، CR: موئینگی (میلی‌متر)، Δ_{sf} : تغییرات جریان زیرسطحی ورودی و خروجی ناحیه ریشه (میلی‌متر) و Δ_{sw} : تغییرات ذخیره رطوبتی خاک (میلی‌متر)

همچنین تغییرات ذخیره رطوبتی خاک از رابطه (۳) به‌دست می‌آید.

$$\Delta_{sw} = (\theta_f - \theta_i) Z_r \quad (\text{رابطه ۳})$$

که در آن: Z_r : عمق توسعه ریشه (میلی‌متر)، θ_i : رطوبت قبل از آبیاری (مترمکعب - مترمکعب)، θ_f : رطوبت بعد از آبیاری (مترمکعب - مترمکعب)

این تحقیق در گلخانه انجام شده است و به همین دلیل

تقطیرگر ۴/۸۸ لیتر در روز است که با تقسیم بر مساحت تقطیرگرها حدود ۰/۷۹ لیتر در روز برای هر مترمربع سطح تقطیرگر به دست می آید. با نمودار برازش داده شده می توان دریافت که در ابتدا تولید آب شیرین کمتر بوده است و با فرا رسیدن روزهای گرم تابستان میزان تولید افزایش یافته است و سپس روند تقریباً ثابتی را طی نموده و در اواخر تولید روند نزولی دارد. میزان کل تولید آب شیرین هر شش تقطیرگر خورشیدی در ۱۰۰ روز اندازه گیری شده ۴۸۸ لیتر می باشد. در یک آزمایش ۱۰ روزه در بوشهر که توسط (Roohbakhshan et al., 2009) در یک تقطیرگر خورشیدی تک حوضچه ای انجام شد، میانگین تولید آب ۳/۳۳۲ لیتر در روز برای ۰/۶۴ مترمربع مساحت جاذب با استفاده از آب خلیج فارس به دست آمد. میانگین تولید آب در یک تقطیرگر تک حوضچه ای که از یک منعکس کننده سهمی وار در زیر آن استفاده گردید، در عمق های چهار و شش سانتی متری آب شور به ترتیب ۱/۸۸ لیتر و دو لیتر بر مترمربع در روز برآورد گردید (Manchanda and Kumar, 2017). با توجه به اینکه عمق آب شور در این تحقیق، هفت سانتی متر است و با افزایش عمق آب از مقدار تولید کاسته می گردد و همچنین به دلیل عدم استفاده از مواد جاذب و تفاوت مکان و شکل منعکس کننده ها، این نتایج دور از انتظار نیست. به طور کلی عملکرد یک تقطیرگر خورشیدی به شرایط آب و هوایی و پارامترهای متنوع دیگری مانند زاویه شیب پوشش شیشه ای، عمق آب در حوضچه، جهت تنگی بخار (محبوس بودن)، ابعاد و بدنه تقطیرگر و غیره بستگی دارد (Tiwari and Singth, 2003؛ Tripathi and Tiwari, 2005؛ Tiwari and Tiwari, 2006؛ Parajapati et al., 2017).

برآورد نسبت تأمین تبخیر و تعرق توسط آب شیرین تولیدی با تقسیم مقدار آب شیرین تولیدی توسط تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه بر مقدار تبخیر و تعرق واقعی گیاه ریحان، مقدار تأمین تبخیر و تعرق گیاه ریحان توسط آب شیرین تولیدی این تقطیرگرها به صورت روزانه و در کل دوره محاسبه شد. رابطه (۷) بیانگر نسبت تأمین تبخیر و تعرق گیاه توسط آب شیرین تولیدی تقطیرگرهای خورشیدی است.

$$P_{(FW/ET)} = \frac{P_{FW}}{ET_c} \quad (\text{رابطه ۷})$$

$P_{(FW/ET)}$: نسبت تأمین تبخیر و تعرق گیاه توسط آب شیرین تولیدی تقطیرگرهای خورشیدی

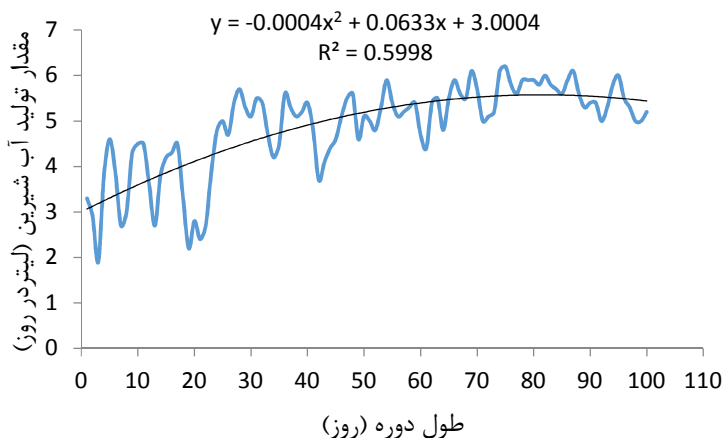
P_{FW} : تولید آب شیرین توسط تقطیرگرهای خورشیدی (میلی متر در روز)

ET_c : تبخیر و تعرق گیاه (میلی متر در روز)

نتایج و بحث

تولید آب شیرین

شکل (۳) مجموع تولید روزانه آب شیرین شش تقطیرگر خورشیدی با مساحت ۶/۲ مترمربع را که همزمان با دوره رشد گیاه اندازه گیری گردید، نشان می دهد. بیشترین و کمترین مقدار تولید آب شیرین شش تقطیرگر به ترتیب ۶/۲ لیتر در روز ۱۷۵ام تولید (۱۳۹۷/۰۴/۱۳) در تیر ماه و ۱/۹ لیتر در روز سوم تولید (۱۳۹۷/۰۲/۰۳) در اردیبهشت ماه به دست آمده است که اگر بر مساحت تقطیرگرها تقسیم شود، مقدار تولید ۰/۳۱ تا ۰/۹۸ لیتر در روز برای هر مترمربع سطح تقطیرگر متغیر خواهد بود. البته اگر هر شش تقطیرگر به صورت مجزا بررسی شوند، این مقدار برای هر تقطیرگر بسته به جهت شیب و مکان جایگذاری آن متفاوت خواهد بود. میانگین مقدار تولید آب شیرین شش



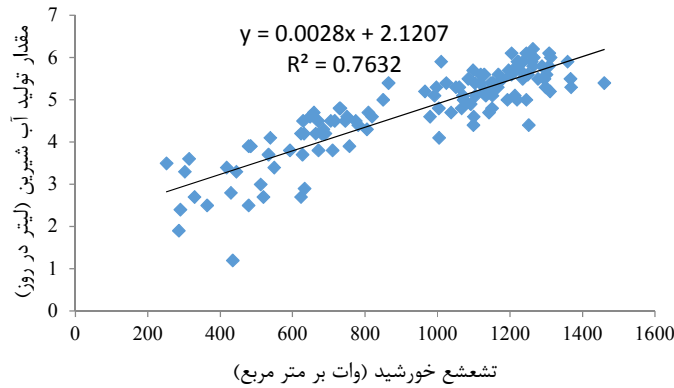
شکل ۳. تغییرات روزانه تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی متصل به گلخانه

کاهش یافته است. شیب منفی خط برازش داده شده نشان دهنده تأثیر منفی بارندگی بر روی میزان تولید آب شیرین است. از شکل‌های (۹) و (۱۰) که تأثیر دید افقی و سرعت باد را بر روی تولید آب شیرین نشان می‌دهند مشخص گردید که با نمودار خطی برازش داده شده نمی‌توان تأثیر مثبت یا منفی این عوامل را بر روی تولید آب بررسی نمود. علت این امر احتمالاً به این دلیل است که تأثیر سرعت باد و دید افقی بر روی میزان تولید آب شیرین نسبت به پارامترهای دیگر نظیر تشعشع خورشید، دمای محیط، ابرناکی و بارندگی کمتر است. یا ممکن است که پارامترهای سرعت باد و دید افقی رابطه غیرخطی با تولید آب شیرین داشته باشند. بیشترین و کمترین مقدار تولید آب شیرین شش تقطیرگر به ترتیب برابر ۶/۲ لیتر در روز ۱۷۵م تولید (۱۳۹۷/۰۴/۱۳) و ۱/۹ لیتر در روز سوم تولید (۱۳۹۷/۰۲/۰۳) به‌دست آمده است. کمترین مقدار تولید آب شیرین شش تقطیرگر در روز سوم تولید (۱۳۹۷/۰۲/۰۳) با مقدار حداکثر بارندگی در طول دوره طرح ۱۲/۷۰ میلی‌متر در روز، مقدار ابرناکی ۵/۹۶، سرعت باد ۲/۷۹ متر در ثانیه، دمای محیط ۲۰/۱۵ درجه سلسیوس، دید افقی ۸/۶۷ کیلومتر و تشعشع ۴۸۴ وات بر مترمربع در روز رخ داده است. بیشترین مقدار تولید آب شیرین شش تقطیرگر در روز ۱۷۵م تولید (۱۳۹۷/۰۴/۱۳) فاقد ابر و بارندگی، با سرعت باد ۲/۵۸ متر در ثانیه، دمای محیط ۴۳/۴۰ درجه سلسیوس، دید افقی ۸/۷۹ کیلومتر و تشعشع ۱۲۶۳ وات بر مترمربع در روز رخ داده است. کمترین مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرها در روزی اتفاق افتاده است که مقدار بارندگی در دوره طرح بیشترین مقدار را داشت و مقدار ابرناکی بسیار زیاد بود و دمای محیط و تشعشع کم بودند و بیشترین مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرها در زمانی رخ داده است که ابرناکی و بارندگی صفر و دمای محیط و تشعشع بسیار زیاد بود، و اما پارامترهای سرعت باد و دید افقی در روزهایی که کمترین و بیشترین مقدار تولید اندازه‌گیری شده است، در محدوده تقریباً نزدیک به هم قرار دارند. بنابراین با بررسی تمام این پارامترها بر روی میزان تولید آب می‌توان گفت که افزایش تشعشع خورشید و دمای محیط، کاهش مقدار ابرناکی آسمان و بارندگی، باعث افزایش مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی می‌شود. همچنین تأثیر مثبت یا منفی پارامترهای سرعت باد و دید افقی بر روی میزان تولید آب شیرین در تقطیرگرها، بدون در نظر گرفتن تأثیر سایر پارامترها از روی نمودارهای برازش داده شده قابل تشخیص نیست. بر اساس تحقیق *Muftah et al.* (2014) در یک مقاله مروری، افزایش تشعشع خورشید، دمای هوای محیط و سرعت باد باعث افزایش عملکرد و افزایش گردوغبار و افزایش مقدار ابر باعث

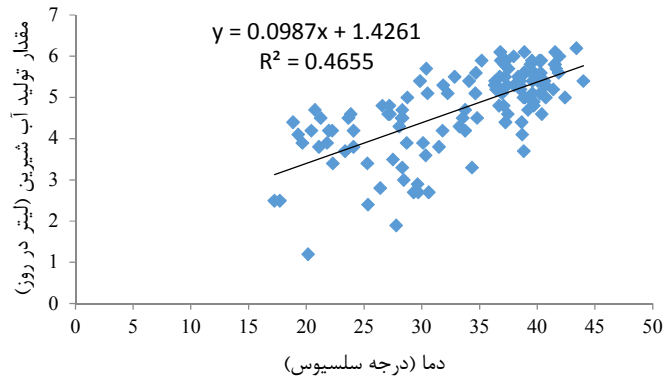
تأثیر برخی عوامل آب و هوایی بر مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه آبیاری تقطیری

تأثیر خطی پارامترهای آب و هوایی میانگین روزانه تشعشع خورشید، دمای محیط، ابرناکی، بارندگی، دید افقی و سرعت باد بر روی مجموع تولید روزانه شش تقطیرگر خورشیدی متصل به گلخانه به‌ترتیب در شکل‌های (۴) تا (۱۰) نشان داده شده است. با توجه به شکل‌های (۴) و (۵) می‌توان دریافت که پارامترهای تشعشع خورشید و دمای محیط بر مقدار تولید آب شیرین تأثیر مثبت دارند. به عبارت دیگر با افزایش مقدار تشعشع و دمای محیط، مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرها افزایش یافت. ضریب تعیین نسبتاً خوب ۷۶/۳ درصد در مدل رگرسیونی برازش داده شده بین تشعشع خورشید و تولید آب شیرین نشان می‌دهد که مقادیر مشاهده شده به خط برازش شده نزدیک هستند و با افزایش تشعشع خورشید، تولید آب شیرین به صورت خطی افزایش می‌یابد. ضریب تعیین در مدل رگرسیونی برازش داده شده بین دمای محیط و تولید آب شیرین ۴۶/۵ درصد به‌دست آمد که نشان می‌دهد مقادیر مشاهده شده به خط برازش شده تطابق چندانی ندارند و نشان‌دهنده این است که پارامترهای دیگری علاوه بر دما بر تولید آب شیرین تأثیرگذار هستند. این خط برازش داده شده نشان می‌دهد که با افزایش دما، تولید آب شیرین به صورت خطی افزایش می‌یابد. خط برازش داده شده با ضریب تعیین ۶۶/۱ درصد در شکل (۶) نشان می‌دهد که مقدار ابرناکی بر روی تولید آب شیرین تأثیر منفی داشته و با افزایش مقدار ابرناکی، مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرها کاهش یافته است. تجمع نقاط بر روی محور عمودی نشان‌دهنده روزهای صاف و غیر ابری است که کمتر بودن مقدار تولید آب شیرین در برخی از روزهای بدون ابر نسبت به روزهای ابری متأثر از عوامل کاهنده دیگری غیر از ابرناکی است. عامل کاهنده دیگری که بر روی میزان تولید تقطیرگرها تأثیرگذار است، بارندگی است. در شکل‌های (۷) و (۸) برای تمام روزهای آزمایش و همچنین فقط روزهایی از آزمایش که بارندگی اتفاق افتاده است، نمودارهای تولید آب شیرین رسم شده است. در شکل (۷) ضریب تعیین ۱۷/۱ درصد نشان می‌دهد که نمودار خطی برازش داده شده بر نقاط مشاهده شده تطابق چندانی ندارد که علت این امر تأثیر عوامل دیگر نظیر تشعشع، دما، ابرناکی و عوامل ناشناخته دیگر است. برای کاهش تأثیر عوامل دیگر بر میزان تولید آب تقطیرگرها، روزهایی را که بارندگی اتفاق نیفتاده بود و به صورت نقاط در روی محور عمودی تجمع یافته بودند حذف شدند (شکل ۸). با افزایش ضریب تعیین ۳۵/۲ درصد در شکل (۸) نسبت به شکل (۷) مشخص شد که تأثیر پارامترهای دیگر غیر از بارندگی

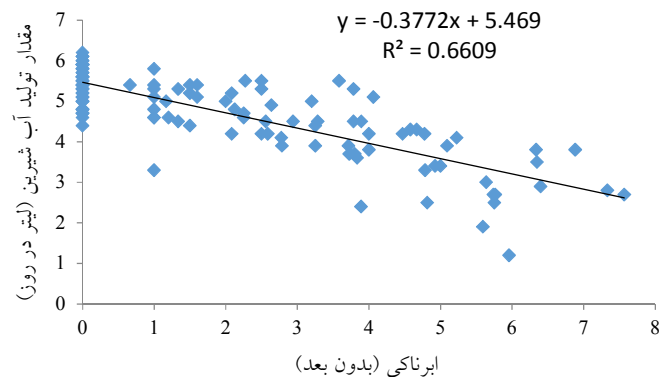
کاهش عملکرد تقطیرگرهای خورشیدی و کلکتورهای متصل به آن‌ها می‌شود. در تحقیقی که توسط Bukar and Harmim (2001) انجام شد، گزارش نمودند که تولید تقطیرگر خورشیدی حوضچه‌ای ساده و یک تقطیرگر مشابه آن که به یک کلکتور متصل بود، به شدت به تشعشع خورشید و دمای محیط بستگی دارد و سرعت باد تأثیر زیادی بر روی تولید ندارد.



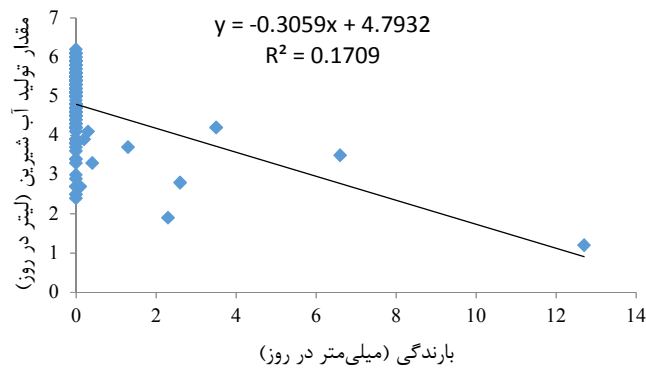
شکل ۴. مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه تحت تأثیر میانگین روزانه تشعشع خورشید



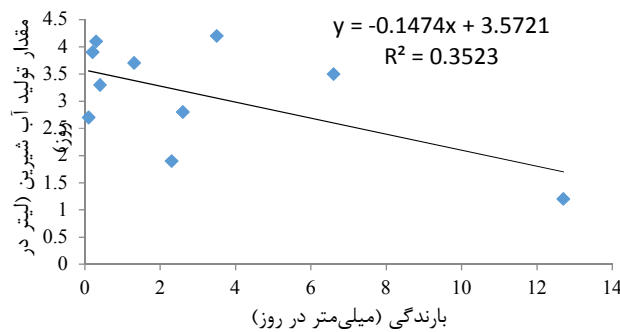
شکل ۵. مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه تحت تأثیر میانگین روزانه دمای محیط



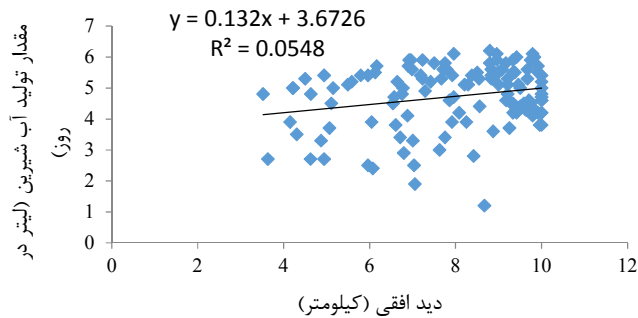
شکل ۶. مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه تحت تأثیر میانگین روزانه ابرنای



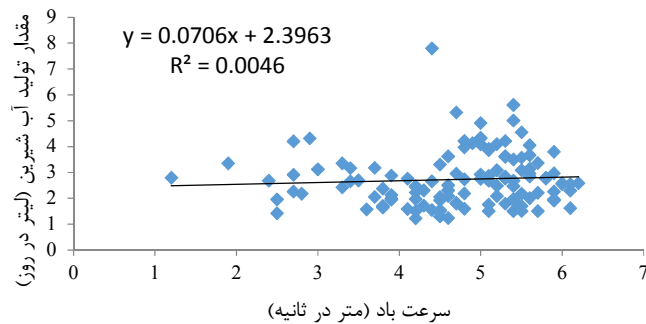
شکل ۷. مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه تحت تأثیر میانگین روزانه بارندگی (در دوره طرح)



شکل ۸. مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه تحت تأثیر میانگین روزانه بارندگی (در روزهای بارانی)



شکل ۹. مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه تحت تأثیر میانگین روزانه دید افقی

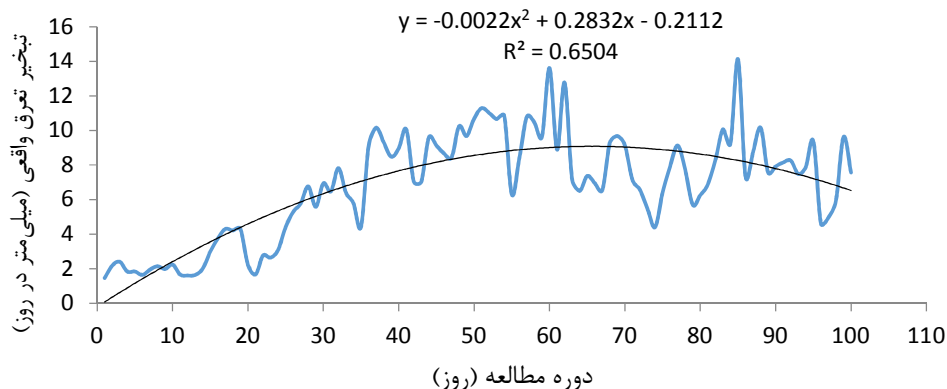


شکل ۱۰. مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی گلخانه تحت تأثیر میانگین روزانه سرعت باد

روش بیلان آبی پس از ۸۳ روز از تاریخ کشت در مرداد به میزان ۹/۶ میلی‌متر در روز به‌دست آمده است و با استفاده از دستگاه REC-P55 به میزان ۱۲/۷ میلی‌متر در روز پس از ۶۳ روز از تاریخ کشت (۱۳۹۳/۰۴/۱۸) در تیر ماه به‌دست آمد. از آنجایی که شرایط آب و هوایی اهواز بسیار متفاوت از مشهد می‌باشد، با وجود اینکه تحقیق حاضر در گلخانه انجام شده است، لیکن تبخیر و تعرق آن بیشتر از تحقیق Naderianfar (2016) در مشهد و در فضای باز می‌باشد. در کلمبیا در ماه‌های ژانویه تا آگوست، ضریب گیاه ریحان در شرایط گلخانه در مراحل مختلف رشد از ۰/۴۲ تا ۰/۵۹ برای ۷۱ روز بعد از انتقال گیاه به‌دست آمد. تبخیر و تعرق مرجع روزانه بین ۱/۶۸ تا ۵/۰۶ میلی‌متر گزارش شد (Daz - Torres et al., 2017). علت تفاوت مقدار تبخیر و تعرق با تحقیق حاضر، به دلیل تفاوت شرایط آب و هوایی و تفاوت در فصل کاشت گیاه است. تبخیر و تعرق گیاه ریحان در فضای باز در صربستان در ماه‌های می تا جولای، توسط Pejić et al. (2017) بررسی گردید. تبخیر تعرق گیاه ریحان را در شرایط بدون آبیاری و آبیاری کامل به ترتیب ۲۷۰ و ۴۳۱ میلی‌متر برآورد نمودند. در تحقیقی که توسط Ebrahimi et al. (2018) در گلخانه‌ای در ارومیه به مدت ۴۵ روز در تاریخ ۱۳۹۴/۰۲/۳۰ تا ۱۳۹۴/۰۲/۱۲ انجام شد، میانگین تبخیر و تعرق گیاه ریحان، ۴/۱۲ میلی‌متر در روز و مجموع تبخیر و تعرق ۱۸۸/۴۵ میلی‌متر برآورد گردید. در تحقیق Chatrenour et al. (2012) در اردبیل تبخیر و تعرق گیاه ریحان در فضای باز، برای ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست به ترتیب ۵/۴۹ و ۷/۴۳ و ۹/۳۱ میلی‌متر در روز به‌دست آمد.

محاسبه تبخیر - تعرق واقعی گیاه ریحان

نتایج تغییرات روزانه تبخیر- تعرق واقعی گیاه ریحان در شکل (۱۱) نشان داده شده است. نمودار تبخیر و تعرق گیاه ریحان یک روند صعودی، ثابت و نزولی را طی می‌کند که نشان‌دهنده مراحل مختلف رشد گیاه است. این فرایند این‌گونه بیان می‌شود که در ابتدای دوره رشد که سطح برگ‌ها کوچک است، تبخیر و تعرق کم و با رشد گیاه و افزایش سطح برگ‌ها، این مقدار افزایش یافته و در پایان دوره رشد کاهش می‌یابد. کمترین و بیشترین مقدار تبخیر و تعرق روزانه به ترتیب برابر ۱/۴۶ میلی‌متر در روز اول کاشت (۱۳۹۷/۰۲/۰۱) و ۱۴/۱۲ میلی‌متر پس از ۸۵ روز از تاریخ کشت (۱۳۹۷/۰۴/۲۳) به‌دست آمد. میانگین تبخیر و تعرق گیاه ریحان در چهار مرحله رشد گیاه به ترتیب ۱/۹۷، ۷/۰۳، ۸/۲۲ و ۸/۱۱ میلی‌متر در روز بوده است. میانگین تبخیر و تعرق گیاه ریحان در طول فصل رشد، ۶/۷۹ میلی‌متر در روز برآورد گردید. میزان تبخیر و تعرق در طول دوره رشد گیاه ریحان برابر ۶۷۸/۹ میلی‌متر به‌دست آمد. اگر چه تبخیر و تعرق در گلخانه حدود ۶۰٪ تا ۸۰٪ فضای باز است (Fernandes et al., 2003)، اما به نظر می‌رسد تبخیر و تعرق گیاه ریحان در شرایط آب و هوایی مشابه شهر اهواز و در فصل تابستان در داخل و خارج گلخانه انجام نشده است و باید با شرایط آب و هوایی بسیار متفاوت از شرایط آب و هوایی این شهر مقایسه گردد. نتایج Naderianfar (2016) که روی تبخیر و تعرق واقعی، ضرایب گیاهی، تابع تولید، کارایی مصرف آب و اعماق شاخص آبیاری گیاه ریحان تحت تأثیر اثر سه‌گانه بافت خاک، نانو کودها و کم‌آبیاری در مشهد و در فضای باز انجام شده بود، نشان داد که بیشترین مقدار تبخیر و تعرق به

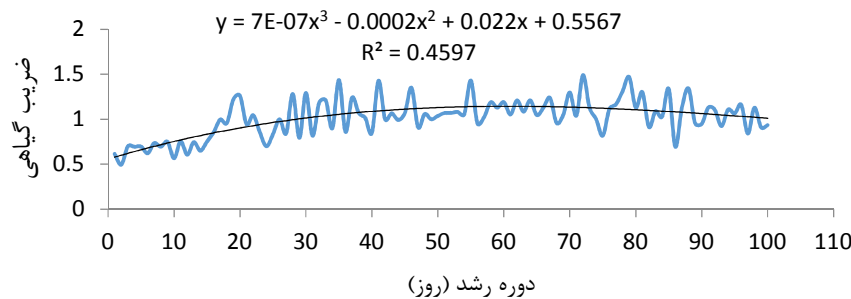


شکل ۱۱. تغییرات روزانه تبخیر و تعرق واقعی گیاه ریحان

افزایش دوره رشد مقدار ضرایب گیاهی افزایش یافته است. کمترین و بیشترین ضریب گیاهی ریحان به ترتیب، در اردیبهشت ماه (۱۳۹۷/۰۲/۰۲) و در تیر ماه (۱۳۹۷/۰۴/۱۰) به مقدار ۰/۴۹ و ۱/۴۹ به‌دست آمد.

محاسبه ضریب گیاهی

تغییرات روزانه ضریب گیاهی ریحان در شکل (۱۲) نشان داده شده است. خط برازش داده شده نشان می‌دهد که ضرایب گیاهی در ابتدای دوره شد کمترین مقدار را دارا بوده و با



شکل ۱۲. تغییرات روزانه ضریب گیاهی ریحان

گردید. در تحقیق Chatrenour *et al.* (2012) در اردبیل ضریب گیاهی ریحان در فضای باز، برای ماه‌های ژوئن، جولای و آگوست به ترتیب ۱/۰۳۸، ۱/۰۳۹ و ۱/۳۷۹ به دست آمد.

نسبت تأمین تبخیر و تعرق گیاه ریحان توسط آب شیرین تولیدی

در شکل (۱۳) روند تغییرات روزانه تبخیر و تعرق گیاه ریحان در طول فصل رشد در مقابل تغییرات روزانه تولید آب شیرین برای یک مترمربع از بستر شن نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ابتدای فصل، تبخیر و تعرق گیاه ریحان از مقدار تولید آب شیرین کمتر است و با افزایش دوره رشد و افزودن شدن میزان تبخیر و تعرق گیاه ریحان، مقدار آن از آب تولیدی بیشتر می‌شود. میانگین تبخیر و تعرق گیاه ریحان در چهار مرحله رشد گیاه به ترتیب ۱/۹۷، ۷/۰۳، ۸/۲۲ و ۸/۱۱ میلی‌متر در روز بوده است و همچنین میانگین مجموع تولید آب شیرین شش تقطیرگر متصل به گلخانه، در این چهار مرحله به ترتیب ۳/۵۲، ۴/۶۲، ۵/۴۷، ۵/۴۲ لیتر در روز به دست آمد. بر اساس این نتایج، آب تولیدی در ابتدای مرحله رشد ۱/۷۹ برابر تبخیر و تعرق گیاه ریحان بوده و با افزایش دوره رشد از مرحله دوم تا چهارم میزان تولید به ترتیب ۰/۶۶، ۰/۶۷ و ۰/۶۷ تبخیر و تعرق بوده است.

شکل (۱۴) نسبت تغییرات تولید آب شیرین شش تقطیرگر خورشیدی را به تبخیر و تعرق در طول دوره رشد برای مساحت یک مترمربع کاشت گیاه ریحان در بستر شنی آزمایش نشان می‌دهد. با توجه به نمودار، این نسبت در ابتدای دوره رشد زیاد و با افزایش دوره رشد و افزایش تبخیر و تعرق گیاه ریحان کاهش داشته است. بیشترین و کمترین نسبت تولید آب شیرین به تبخیر و تعرق ریحان به ترتیب در روزهای ۱۱م و ۶۰ام با مقدارهای ۲/۷۱ و ۰/۳۵ اتفاق افتاده است.

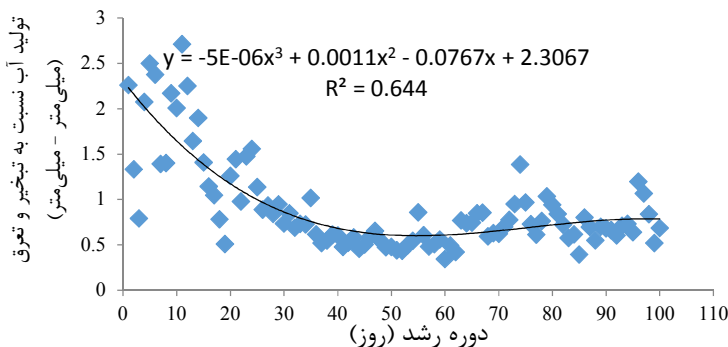
ضرایب گیاهی ریحان کشت شده در گلخانه در مرحله رشد اولیه، توسعه، میانی و انتهایی رشد به ترتیب معادل ۰/۶۷، ۱/۰۵، ۱/۱۳ و ۱/۰۴ برآورد گردید. در تحقیق Naderianfar (2016) که در فضای باز انجام شده، مقادیر ضرایب گیاهی ریحان برای چهار مرحله رشد ۰/۴۸، ۱/۰۵، ۱/۱۱ و ۰/۹۵ به دست آمدند که به ضرایب به دست آمده این تحقیق، نزدیک است. با وجود هوای گرم‌تر اهواز نسبت به مشهد، به نظر می‌رسد علت این نزدیکی به این دلیل باشد که شرایط گلخانه تحقیق در اهواز تا حدودی شبیه به شرایط محیط باز مشهد بوده است. مقدار ضریب گیاهی در ماه اول کمترین و در ماه سوم بیشترین مقدار را دارد. دلیل آن این است که در رشد اولیه، گیاه تا مرحله چند برگگی به دلیل کم بودن سطح گیاه و اندام هوایی، نیاز آبی کمی دارد و با ادامه رشد رویشی و ورود به مرحله زایشی، ضریب گیاهی روند افزایشی داشته و در ماه سوم با گلدهی گیاه، میزان فتوسنتز و تنفس بالا رفته و نیاز آبی به حداکثر خود می‌رسد. با نزدیک شدن به برداشت نیز، ضریب گیاهی کاهش می‌یابد. در کلمبیا در ماه‌های ژانویه تا آگوست، ضریب گیاه ریحان در شرایط گلخانه در مراحل مختلف رشد از ۰/۴۲ تا ۰/۵۹ برای ۷۱ روز بعد از انتقال گیاه به دست آمد (Daz – Torres *et al.*, 2017). علت تفاوت ضرایب گیاهی در آن با تحقیق حاضر، به دلیل تفاوت شرایط آب و هوایی و تفاوت در فصل کاشت گیاه است. ضریب گیاهی ریحان در فضای باز در صربستان در ماه‌های می^۱، ژوئن^۲، ژولای^۳ و آگوست^۴ به ترتیب ۰/۵، ۰/۶، ۱/۱ و ۱، توسط Pajić *et al.* (2017) برآورد گردید. در تحقیقی که توسط Ebrahimi *et al.* (2018) در گلخانه‌ای در ارومیه به مدت ۴۵ روز در تاریخ ۱۳۹۴/۰۲/۳۰ تا ۱۳۹۴/۰۴/۱۲ انجام شد، میانگین ضریب گیاه ریحان در مراحل ابتدایی، توسعه، میانی و انتهایی به ترتیب ۰/۱۴، ۰/۵۲، ۰/۹۳ و ۰/۸۳ محاسبه



شکل ۱۳. روند تغییرات روزانه تبخیر و تعرق گیاه ریحان در طول فصل رشد در مقابل تغییرات روزانه تولید آب شیرین

در روز به نظر می‌آید این تحقیق برای گیاه کم مصرفی به کار رفته است. هر چند که نام گیاه ذکر نشده است. در تحقیق دیگری توسط Chaibi (2003)، تولید تقطیرگر بام گلخانه را برای یک مترمربع تقطیرگر، ۱/۵ تا ۲ لیتر در روز به دست آورد و بیان داشت که در ابتدا و انتهای دوره فصل رویش، حدود ۱/۶ تا ۲/۳ برابر نیاز آبی گیاه با سطح پوشش سبز کم مانند کاهو است. تحقیقاتی که مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی را برای تأمین تبخیر و تعرق گیاه بررسی نمایند بسیار کم بوده و یا سیستم‌هایی که برای تولید آب طراحی می‌شوند از لحاظ فنی بسیار متفاوت از طرح حاضر که یک تقطیرگر خورشیدی ساده است، می‌باشند. بیشتر تحقیقاتی که انجام شده است، تولید واقعی یک تا ۱۰ روزه را برای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل تولید اندازه‌گیری نموده‌اند و به مسئله آب شیرین تولیدی برای تأمین نیاز آبی و کاشت گیاه در طول فصل رشد توجه چندانی نشده است (Sablani et al., 2003; Goosen et al., 2003). بنابراین به نظر می‌رسد تحقیقات زیادی در زمینه مقایسه تولید مقدار آب شیرین در تقطیرگرهای خورشیدی و یا گلخانه‌های دریایی با میزان نیاز آبی گیاه، وجود نداشته باشد.

با توجه به تبخیر و تعرق گیاه ریحان که در طول فصل رشد ۶۷۸/۹ میلی‌متر است و با توجه به تولید ۴۸۸ لیتر آب شیرین از شش تقطیرگر گلخانه در ۱۰۰ روز اندازه‌گیری شده دوره طرح، درصد تولید آب به تبخیر و تعرق گیاه ریحان در طول فصل رشد ۷۲٪ برای یک مترمربع کاشت ریحان است. به عبارت دیگر این مقدار آب تولیدی که از شش تقطیرگر متصل به گلخانه با مساحت کلی ۶/۴ مترمربع به دست می‌آید قادر به تأمین ۰/۷۲ مترمربع مساحت گلخانه با در نظر گرفتن نیاز آبی گیاه ریحان است. از آنجایی که سه بستر شنی که هر کدام مساحت ۰/۹ مترمربع دارند برای کاشت گیاه ریحان در نظر گرفته شده است، بنابراین به طور کلی آب شیرین تولیدی حدود ۲۷٪ نیاز آبی گیاه ریحان را در مساحت ۲/۷ مترمربع بستر کشت شنی تأمین می‌نماید. در تحقیق Mashaly et al. (2015) که از یک صفحه تقطیرگر برای نمک‌زدایی از آب استفاده نمودند، نیاز آبی را ۱/۸۸ لیتر در مترمربع در روز و میانگین آب شیرین تولیدی را در تقطیرگر خورشیدی ۴/۷۹ لیتر در مترمربع در روز برآورد نمودند و بیان داشتند که یک مترمربع تقطیرگر قادر به تولید آب برای دو مترمربع از گلخانه است. با توجه به نیاز آبی ۱/۸۸ لیتر بر مترمربع



شکل ۱۴. نسبت تغییرات تولید آب شیرین به تبخیر و تعرق گیاه ریحان

مواقعی که نیاز آبی پایین است، جبران نمود. بیشترین و کمترین نسبت تولید آب شیرین به تبخیر و تعرق به ترتیب در روزهای ۱۱م و ۶۰م با مقدارهای ۲/۷۱ و ۰/۳۵ اتفاق افتاده است. به طور کلی تولید آب شیرین توسط شش تقطیرگر خورشیدی متصل به این گلخانه بدون اشغال نمودن مساحت زمین اطراف، ۷۲٪ تبخیر و تعرق واقعی گیاه پر مصرف ریحان را برای یک مترمربع کشت در بستر شنی در گرم‌ترین ماه‌های سال در اهواز تأمین می‌نماید. به طور کلی در مساحت ۲/۷ مترمربعی سه بستر شنی کشت شده با گیاه ریحان، ۲۷٪ نیاز آبی گیاه ریحان توسط آب شیرین تولیدی تأمین گردید. می‌توان با ذخیره فصلی آب تولیدی، در زمان‌هایی که کشت انجام نمی‌شود بخش بیشتری از نیاز آبی گیاه ریحان را تأمین نمود. لازم است تحقیقات بیشتری در فصل‌های مختلف سال، در زمینه محصولات کشاورزی با نیاز آبی کمتر صورت گیرد تا نسبت تولید آب به نیاز آبی هر گیاه در این گلخانه به‌دست آید.

سپاسگزاری

نگارندگان مقاله از حمایت و مساعدت شرکت بهره‌برداری از شبکه‌های آبیاری کرخه و شاور و همچنین سازمان آب و برق خوزستان که هزینه طرح تحقیقاتی با شماره قرارداد ۵۱۲/۹۵ را پرداخت نموده‌اند، قدردانی و سپاسگزاری می‌نمایند.

REFERENCES

- Abderachid, T., Abdenacer, K. (2013). Effect of orientation on the performance of a symmetric solar still with a double effect solar still (comparison study). *Desalination*, 329, 68-77.
- Afshaar, G., Goshayeshi, H. and Hadadsarai, B. (2013). Water crisis and the role of solar desalintors in dealing with it. *The 1st National Conference on Water Crisis*, 15-16 May., Islamic Azad University of Khorasgan Branch, Isfahan, Iran, 11. (In Farsi)
- Akbarifard, S., Bakhtiari, B., Mirhabidi, M., and Estakhroei, R. (2016). Comparison calculated and actual daily reference evapotranspiration in greenhouse conditions in a semi-arid climate. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(6), 937-947. (In Farsi)
- 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.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., and Smith, M. (1998). Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO-Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome (<http://www.fao.org/docrep>)

نتیجه‌گیری

نتایج روند تغییرات روزانه تبخیر و تعرق واقعی گیاه ریحان نشان داد که بیشترین میزان تبخیر و تعرق روزانه ۱۴/۱ میلی‌متر پس از ۸۵ روز از تاریخ کشت (۱۳۹۷/۰۴/۲۳) در تیر ماه به‌دست آمد. ضریب گیاهی ریحان در مرحله رشد اولیه، توسعه، میانی و انتهایی رشد به ترتیب معادل ۰/۶۷، ۱/۰۵، ۱/۱۳ و ۱/۰۴ برآورد گردید. میانگین تبخیر و تعرق گیاه ریحان در چهار مرحله رشد گیاه به ترتیب ۱/۹۷، ۷/۰۳، ۸/۲۲ و ۸/۱۱ میلی‌متر در روز بوده است. با بررسی تأثیر پارامترهای آب و هوایی بر روی میزان تولید آب مشخص شد که افزایش تشعشع خورشید و دمای محیط، کاهش مقدار ابرناکی آسمان و بارندگی، باعث افزایش مقدار تولید آب شیرین تقطیرگرهای خورشیدی می‌شود. همچنین تأثیر مثبت یا منفی پارامترهای سرعت باد و دید افقی بر روی میزان تولید آب شیرین در تقطیرگرها، بدون در نظر گرفتن سایر پارامترها از روی نمودارهای برازش داده شده قابل تشخیص نیست. میانگین مجموع تولید آب شیرین شش تقطیرگر متصل به گلخانه در این چهار مرحله رشد گیاه به ترتیب ۳/۵۲، ۴/۶۲، ۵/۴۷، ۵/۴۲ لیتر در روز به‌دست آمد. بنابراین آب تولیدی در ابتدای مرحله رشد معادل ۱/۷۹ برابر تبخیر و تعرق گیاه ریحان بوده و از مرحله دوم به بعد، تولید آب حدود ۰/۶۷ تبخیر و تعرق گیاه ریحان بود. به نظر می‌رسد می‌توان بخشی از نیاز آبی گیاه را با ذخیره فصلی در

org/docrep) ARPAV (2000), La caratterizzazione climatica della Regione Veneto, Quaderni per. *Geophysics*, 156, 178.

Amiri, M., Abedi-Koupai, J., and Eslamian, S. (2011). Performancr of evaporation pans in greenhouse environment. *EJGCST*, 2(1), 63-73. (In Farsi)

Bettaque, R., and Naegel, L. C. A. (1999). An integrated solar desalination system in controlled-environment greenhouses. *Sunworld*, 23(1), 18-20.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2013). Good agriculture practices for greenhouse vegetable crops: principles for Mediterranean climate areas. *Plant Production and Protection Division*, Paper 217. Rome, Italy.

Bhattacharyya, A. (2013). Solar stills for desalination of water in rural households. *International Journal of Environment and Sustainability*, 2(1), 21-30.

Blanco, F. F., and Folegatti, M. V. (2003). Evapotranspiration and crop coefficient of cucumber in greenhouse. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 7(2), 285-291.

Boroomandnasab, S. and Yousefi, B. (2016). *Condensation Irrigation (Solar Technologies Drainage Water and Irrigation)*. Ahvaz: Shahid Chamran University of Ahvaz Press, 98. (In Farsi)

- Bourouni, K., Chaibi, M. T., and Al-Tae, A. (2011). Water desalination by humidification and dehumidification of air, seawater greenhouse process. *Solar energy conservation and photoenergy systems, Encyclopedia of Life Support Systems. EOLSS*.
- Boutiere, H. (1972). Culture en zone aride et serredistillateurs solaires. *COMPLES Bulletin*, (1972).
- Bukar, M., and Harmim, A. (2001). Effect of climatic conditions on the performance of a simple basin solar still: a comparative study. *Desalination*, 137(1-3), 15-22.
- Chaibi, M. T. (2003). *Greenhouse systems with integrated water desalination for arid areas based on solar energy* (Vol. 389). Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences Alnarp
- Chaibi, M. T. (2013). Thermal solar desalination technologies for small-scale irrigation. *American Journal of Energy Research*, 1(2), 25-32.
- Chatrenour, M., Rasoulzadeh, A., Rahmanian, M., Esmailpour, 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*, 29February–1March., Islamic Azad University of Khorasgan Branch, Isfahan, Iran, 5. (In Farsi)
- Daza – Torres, M. C., Arias – Prado, P. C., Reyes – Trujillo, A., and Umutia – cobo, N. (2017). Basil (*Ocimum basilicum* L.) water needs calculated from the crop coefficient. *Ingeniería e Investigación*, 37(3), 8–16.
- 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. *Water and Irrigation Management*. 8(1), 1-13. (In Farsi)
- Fernandes, C., Corá, J. E., and Araújo, J. A. C. D. (2003). Reference evapotranspiration estimation inside greenhouses. *Scientia Agricola*, 60(3), 591 – 594.
- Gorjian, S., and Ghobadian, B. (2015). Solar desalination: A sustainable solution to water crisis in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 48, 571-584.
- Goosen, M. F. A., Sablani, S. S., Paton, C., Perret, J., Al-Nuaimi, A., Haffar, I., ... and Shayya, W. H. (2003). Solar energy desalination for arid coastal regions: development of a Simulation of a humidification-dehumidification seawater greenhouse. *Solar Energy*, 75(5), 413-419.
- Habibi, H. (2011). Solar desalinators, energy saving – increase productivity. *The 5th National Conference & Exhibition on Environmental Engineering*. 21-23 November, Tehran. 11. (In Farsi)
- Hausherr, B., and Ruess, K. (1993). Seawater desalination and irrigation with moist air. *IngenieurbÜro Ruess und Hausherr, Switzerland*.
- Husain, A. K. M. (2003). Solar energy utilization in Libya for seawater desalination. In *proceedings at the ISES solar world congress*.
- Hosseini, A., Banakar, A. and Gorjian, S. 2018. Development and performance evaluation of an active solar distillation system integrated with a vacume-type heat exchanger. *Desalination*, 435, 45-59.
- Kabeel, A. E., and Almagar, A. M. (2013, November). Seawater greenhouse in desalination and economics. In *Seventeenth International Water Technology Conference, IWTC17*.
- Lindblom, J., and Nordell, B. (2006). Subsurface irrigation by condensation of humid air. *Sustainable Irrigation Management, Technologies and Policies*, 96, 181.
- Lindblom, J., and Nordell, B. (2007). Underground condensation of humid air for drinking water production and subsurface irrigation. *Desalination*, 203(1-3), 417-434.
- Mahmoudi, H., Spahis, N., Goosen, M. F., Ghaffour, N., Drouiche, N. and Ouagued, A. (2010). Application of geothermal energy for heating and fresh water production in a brackish water greenhouse desalination unit: A case study from Algeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier. 14(1), 512 - 517.
- Manchanda, H., and Kumar, M. (2017). Performance analysis of single basin solar distillation cum drying unit with parabolic reflector. *Desalination*, 416, 1-9.
- Mashaly, A. F., Alazba, A. A., Al-Awaadh, A. M., and Mattar, M. A. (2015). Area determination of solar desalination system for irrigating crops in greenhouses using different quality feed water. *Agricultural Water Management*, 154, 1-10. March 6, 2015, from <http://www.elsevier.com/locate/agwat>.
- Muftah, A. F., Alghoul, M. A., Fudholi, A., Abdul-Majeed, M. M. and Sopian, K. 2014. Factors affecting basin type solar still productivity: A detailed review. *Renewable and Sustainable Energy Review*, 32, 430-447.
- Murugavel, k. k., Chockalingam, K. K., and Srithar, K. (2008). Progresses in improving the effectiveness of the single basin passive solar still. *Desalination*, 220 (1-3), 677-686.
- 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)
- Okati, V., Farsad, S. and Behzadmehr, A. (2018). Numerical analysis of an integrated desalination unit using humidification – dehumidification and subsurface condensation processes. *Desalination*, 433, 172-185.
- Okati, V., Farsad, S. and Behzadmehr, A. (2016). Analysis of a solar desalinator (humidification – dehumidification cycle) including a compound system consisting of a solar humidifier and subsurface condenser using DoE. *Desalination*, 397, 9-21.
- Pejić, B., Adamović, D., Maksimović, L. and Mačkić, K. (2017). Effect of drip irrigation on yield, www.SID.ir

- evapotranspiration and water use efficiency of sweet Basil (*Ocimum basilicum* L.). *Ratarstvo i Povrtarstv*, 54(3), 124 – 129.
- Parajapati, A. R., Subhedar, D., and Ramani, B. M. (2017). Recent advancement in solar distillation system: A Review. *International Journal of Engineering Technology Science and Research*, 4(8): 1-6.
- Reca, J., Trillo, C., Sánchez, J. A., Martínez, J., and Valera, D. (2018). Optimization model for on-farm irrigation management of Mediterranean greenhouse crops using desalinated and saline water from different sources. *Agricultural Systems*.
- Roohbakhshan, F., Shirzad, N., Salehi Shabestari, A., and Mehran, A. (2009). Domestic Scale Solar Water Still. *Solar 09, 47th ANZSES Annual Conference*. 29 September-2 October, Townsville, Queensland, Australia. 1-10.
- 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 greenhouse. *Desalination*, 159(3), 283-288.
- Tabrizi, F. F. and Sharak, A. Z. 2010. Experimental study of an integrated basin solar still with a sandy heat reservoir. *Desalination*, 253(1-3), 195-199.
- Tiwari, G. N., Singh, H. N., and Tripathi, R. (2003). Present status of solar distillation. *Solar Energy*, 75(5), 367-373.
- Tiwari, A. K., and Tiwari, G. N. (2007). Thermal modeling based on solar fraction and experimental study of the annual and seasonal performance of a single slope passive solar still: the effect of water depths. *Desalination*, 207(1-3): 184-204.
- Tiwari, A. K., and Tiwari, G. N. (2006). Effect of water depths on heat and mass transfer in a passive solar still: in summer climatic condition. *Desalination*, 195(1-3): 78-94.
- Tripathi, R., and Tiwari, G. N. (2005). Effect of water depth on internal heat and mass transfer for active solar distillation. *Desalination*, 173(2): 187-200.
- Trombe, F., and Foex, M. (1961, August). Utilisation of solar still energy for simultaneous distillation of brackish water and air conditioning of hot houses in arid regions. UN Conf. On new sources of energy. In *UN Conf. on New Sources of Energy*.
- Velmurugan, V. and Srithar, K. 2011. Performance analysis of solar stills based on various factors affecting the productivity-a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(2), 1294-1304.
- Yelimezsay, K., And Abdul-Wahab, S. 2014. A composite desirability function-based modeling approach in predicting mass condensate flux of condenser in seawater greenhouse. *Desalination*, 344, 171-180.
- Yousefi, B. (2012). *Application of Condensation Irrigation in desalination of saline waters and reuse in irrigation and drinking water*. Thesis of Master of Science, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz: 65. (In Farsi)
- Yousefi, B., Behzaad, M. and Boroomandnasab, S. (2010). Condensation and Distillation Irrigation. *3rd Irrigation and Drainage Network Management National Conference*. 1-3 March, Shahid Chamran University of Ahvaz: 5. (In Farsi)
- Yousefi, B., Behzaad, M., Boroomandnasab, S. and Rahmaanshaahizehaabi, M. (2011). Condensation Irrigation. *4th Iran Water Resources Management Conference*. 3-4 May, Amirkabir University of Technology, Tehran: 7. (In Farsi)
- Yousefi, B., Boroomandnasab, S. and Chaibi, M. T. (2012). Assessment of the Performance of Condensation Irrigation System: First Results. *World Rural Observation*. 4(3), 14 – 17.