نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۳، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۲، ص ۲۳-۱۶

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 3, No. 1, Spring - Summer 2013, p. 16-23

تأثیر سطح گلخانه و درصد پوشش گیاهی برکارآیی مبدل زمین به هوا در سرمایش گلخانه

محسن محمدی مقرب[۱*]- محمد حسین عباسپور فرد[۲]- مرتضی گلدانی[۳]- باقر عمادی[٤]

تاریخ دریافت: ۹۰/۷/۶
تاریخ پذیرش: ۹۱/۲/۲

چکیده

دما در طول سال در عمق ۳ تا ۴ متری زمین تقریباً ثابت است، در نتیجه تابستان دمای زیر زمین کمتر از دمای محیط بوده و این پتانسیل می‌تواند برای سرمایش گلخانه با استفاده از سامانه مبدل زمین به هوا مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق به‌منظور بررسی کارایی این سامانه بر سرمایش گلخانه، اثر دو پارامتر مساحت کف گلخانه در سه سطح ۹، ۱۸ و ۲۷ مترمربع و درصد پوشش گیاهی گلخانه در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد بر دمای داخل گلخانه مورد بررسی قرار گرفت. طرح آزمایشی مورد استفاده آزمون فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی می‌باشد. پارامترهای دمای دورن گلخانه، انرژی حرارتی مبادله شده و ضریب عملکرد مورد بررسی قرار گرفتند. از نتایج قابل توجه در این تحقیق این است که در حالت سرمایش به‌دلیل بروز پدیده تقطیر در داخل لوله‌ها امکان استفاده از سیکل بسته وجود ندارد. همچنین اثر مساحت و درصد پوشش گیاهی بر عملکرد سامانه معنی‌دار بود. به‌طوری‌که بیشترین میانگین اختلاف دمایی بین دمای گلخانه شاهد و دمای گلخانه در تیمار پوشش گیاهی۱۰۰ درصد و مساحت کف ۹ مترمربع و برابر ۹/۶ درجه سانتی‌گراد و کمترین میانگین اختلاف دمایی در تیمار بدون پوشش گیاهی و مساحت کف ۲۷ مترمربع و برابر ۵/۲ درجه سانتی‌گراد به دست آمد. با درنظر گرفتن میانگین انرژی حرارتی مبادله شده در هر تیمار برای حالت سرمایش با سیکل باز بهترین تیمار برای سامانه استفاده شده در این تحقیق، تیمار با مساحت کف ۹ مترمربع و ۱۰۰ درصد پوشش گیاهی تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: اختلاف دما، انرژی مبادله شده، سرمایش، سیستم مبدل زمین به هوا، گرمایش

مقدمه

افزایش جمعیت و رشد مصرف سرانه که با سطح درآمد و زندگی افراد جامعه همبستگی زیادی دارد، دو مسئله مهم در تأمین نیازهای غذایی برای افراد جوامع در حال پیشرفت از جمله ایران است. در این میان نقش بهره‌گیری مؤثر و بهینه از منابع محدود آب و خاک و استفاده از نیروی انسانی موجود در کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. تلاش موفقیت‌آمیز در جهت رشد درآمد ناخالص ملی و رسیدن به خودکفایی در تولید نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد کشور، همانند هر فعالیت دیگری نیاز به آگاهی عمیق از فرآیندهای عملی و اقتصادی و بکارگیری آخرین دانش و فن‌آوری روز دنیا دارد. در این راستا تکنولوژی تولید محصولات گلخانه‌ای منجر به افزایش چشمگیر راندمان بهره‌برداری از منابع محدود آبی و خاکی گشته و اهمیت آن با توجه به اقلیم خشک و کم باران اکثر نقاط کشور ما غیر قابل انکار است.

برای تولید و پرورش تجاری گیاهان با کیفیت بالا و در تمام طول سال باید شرایط محیطی مطلوب از نظر شدت نور، دمای روزانه، دمای شبانه، میزان رطوبت نسبی هوا و رطوبت خاک به همراه کنترل عوامل خسارت‌زا نظیر باد، طوفان‌های ویران‌گر، سرما و یخبندان فراهم گردد و این هدف به کمک گلخانه محقق می‌شود. گلخانه بخش محدودی از فضاست که در آن کلیه عوامل محیطی کنترل و برای کشت‌های متراکم، تولید محصول خارج از فصل و یا خارج از محیط طبیعی گیاه مناسب است (Molahoseini and Sielspour, 2008). فراهم نمودن شرایط محیطی مطلوب در گلخانه‌ها نیازمند مصرف مقدار زیادی انرژی است تا بار گرمایی و یا سرمایی مورد نیاز را به گلخانه وارد و یا خارج نماید، به‌طوری‌که تخمین زده می‌شود در سامانه‌های سنتی ۱۵ تا ۲۵ درصد از هزینه تولید محصولات مربوط به تأمین گرمایش در گلخانه است (Gholami, 2009). در روش‌های سنتی اغلب از منابع سوخت‌های فسیلی برای تأمین این میزان انرژی استفاده می‌شود، اما مشهود است که این منابع به زودی پایان خواهند

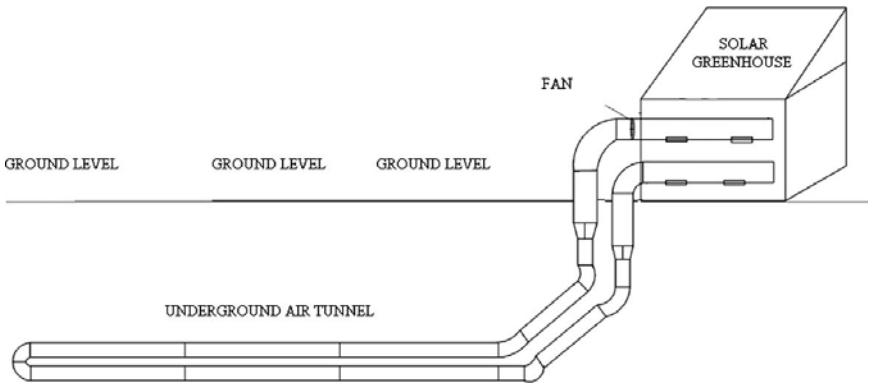
۱، ۲ و ۴- به ترتیب کارشناس ارشد، دانشیار و استادیار گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول Email: m.mogharreb@gmail.com)
۳- استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

یافت و در نتیجه بشر برای ادامه حیات نیازمند منابع جایگزین خواهد بود. در این روش‌ها تلاش بر این است که از منابع رایگان و تجدید پذیر برای تأمین انرژی استفاده شود.

یکی از منابع انرژی رایگان، پاک و تجدید پذیر انرژی موجود در لایه‌های زیر زمین است. اگرچه دمای خاک در لایه‌های سطحی ممکن است تحت تأثیر دمای محیط قرار گیرد ولی دما در طول سال در عمق ۳ تا ۴ متری زیر سطح زمین تقریباً ثابت است، این بدین معنی است که در تابستان دمای زیر زمین کمتر و در زمستان بیشتر از دمای هوای محیط است. در نتیجه از این پتانسیل می‌توان در سرمایش و گرمایش گلخانه استفاده کرد (Sethi and Sharma, 2008). البته استفاده از خاصیت ذخیره‌سازی زمین برای گرمایش و سرمایش یک ایده جدید نیست، بلکه ایده استفاده از آن به زمان باستان بر می‌گردد (Santamouris *et al.*, 1996). آنچه که اکنون مد نظر محققین قرار گرفته این است که چگونه از این پدیده به صورت مؤثر و بهینه برای کمک به کنترل دمای گلخانه استفاده شود.

برای استفاده مؤثر از این پتانسیل زمین روش‌های متعددی پیشنهاد شده است. یکی از این روش‌ها لوله‌های دفن شده در عمق زمین است. لوله‌ها در عمق زمین مطابق شکل۱ به صورت U شکل قرار گرفته و دو انتهای آن به سطح زمین آورده می‌شود. هوا به صورت اجباری به داخل لوله‌ها هدایت شده و پس از تبادل حرارتی با زمین دوباره به سطح منتقل می‌شود و می‌توان از انرژی حرارتی ذخیره شده در آن برای اهداف گرمایش و یا سرمایش استفاده کرد. در زمستان به دلیل بالا بودن دمای عمق زمین نسبت به دمای هوای گلخانه انتقال حرارت از خاک به هوا و در تابستان به صورت عکس صورت می‌گیرد (Abbaspour-Fard *et al.*, 2011). در اینجا بیان این نکته ضروریست که سامانه مبدل زمینی با جریان هوا یک منبع ذخیره انرژی کاملاً رایگان نیست و در بیشتر سامانه‌ها مقداری انرژی الکتریکی برای گردش هوا مصرف می‌شود. اما در مقابل، این سیستم می‌تواند ۳ تا ۴ برابر انرژی حرارتی بیشتری نسبت به برق مصرفی بین محیط گلخانه و خاک زیر زمین مبادله نماید (Mustafa Omer, 2008).

مطالعات بسیاری در نقاط مختلف جهان بر روی سیستم مبدل زمینی با جریان هوا صورت گرفته است که نشان دهنده اهمیت این موضوع در سایر نقاط جهان نیز می‌باشد. به عنوان مثال در شهر مشهد عوامل مؤثر بر عملکرد سیستم مبدل زمین به هوا مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت. در این مطالعه فاکتورهای جنس لوله در دو سطح آهنی و پلاستیکی، عمق دفن لوله‌ها در دو سطح ۲ و ۴ متر، طول لوله‌ها در دو سطح ۹ و ۱۸ متر و سرعت جریان هوا در سه سطح ۴، ۷ و ۱۰ متر بر ثانیه در دو آزمایش سرمایش و گرمایش مورد بررسی قرار گرفتند. این آزمایشات در محیط باز صورت گرفته بود. در بین فاکتورهای مورد مطالعه، عمق دفن بیشترین تأثیر را بر اختلاف دمای هوای خروجی و ورودی داشت. بیشترین اختلاف دما و بیشترین مبادله انرژی گرمایی با خاک در لوله آهنی با عمق ۴ و طول ۱۸ متر و سرعت جریان هوای ۷ متر بر ثانیه به دست آمد. ضریب عملکرد در این حالت برای گرمایش و سرمایش به ترتیب ۳/۵۷ و ۵/۵۱ به‌دست آمد (Gholami, 2009). با توجه به اختلاف دمایی ایجاد شده در حالت سرمایش و گرمایش نتیجه گرفته شد که منطقه مورد مطالعه از پتانسیل خوبی برای جبران بخشی از بار گرمایشی و سرمایشی گلخانه برخوردار بوده و نیاز به مطالعه بیشتر در این زمینه احساس می‌شود. در تحقیقی دیگر در شهر ازمیر ترکیه از یک تونل زیر زمینی از جنس گالوانیزه به قطر اسمی ۵۶ سانتی‌متر و طول ۴۷ متر که در عمق تقریبی ۲/۵ متری سطح زمین در گلخانه‌ای به مساحت ۴۸ مترمربع نصب شده بود، به عنوان سیستم مبدل زمینی با جریان هوا برای خنک کردن گلخانه استفاده گردید. از یک فن برای ایجاد جریان هوا با دبی ۵۳۰۰ مترمکعب بر ساعت استفاده شده بود.



شکل۱- شماتیک سیستم مبدل زمین به هوا

Fig.1. Schematic of earth-to-air heat exchanger (EAHE) (Ozgener and Ozgener, 2010)

بیشترین اختلاف دمای بین هوای ورودی و خروجی این سیستم ۴/۲۲ درجه سانتی‌گراد گزارش شد. (Ozgener and Ozgener, 2010). گلخانه‌ای به ابعاد ۲۴ مترمربع در شهر دهلی هند ساخته شد. در قسمت شمالی این گلخانه دیواری آجری به ضخامت ۰/۲۷۵ متر ساخته شده و از یک سیستم مبدل زمینی با جریان هوا که از لوله‌های pvc به طول ۳۹ متر و قطر ۶ سانتی‌متر تشکیل شده بود استفاده گردید. لوله‌ها در عمق ۱ متری و به صورت ردیف‌هایی به طول ۴/۸ متر نصب شده بودند. یک فن جریان وزنی ۱۰۰ کیلوگرم بر ساعت هوا درون لوله‌ها ایجاد می‌کرد. نتایج نشان داد که این سیستم قادر بود دمای گلخانه را در زمستان ۶ تا ۷ درجه بیشتر و در تابستان ۳ تا ۴ درجه کمتر از گلخانه بدون سیستم مبدل نگه دارد (Ghosal *et al.*, 2005). نتایج کاربرد سامانه مبدل زمینی با جریان هوا در نقاط مختلف جهان نشان می‌دهد که استفاده از سامانه زمین گرمایی می‌تواند از طریق جبران بار گرمایشی و سرمایشی ارتباط معنی‌داری با کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه آن کاهش آلودگی و کاهش هزینه تولید محصولات گلخانه‌ای داشته باشد. بیشتر این تحقیقات در نقاطی از جهان انجام شده است که از منابع عظیم سوخت‌های فسیلی بی بهره‌اند و در نتیجه احساس نیاز به منابع سوختی جدید تلاش‌ها و مطالعات در این زمینه را افزایش داده است. در حال حاضر گلخانه‌های موجود در ایران برای تأمین انرژی مورد نیاز خود تقریباً به‌طور کامل متکی به منابع سوخت‌های فسیلی هستند که این امر هم هزینه تولید محصولات را بالا می‌برد و هم بر افزایش روز افزون گازهای گلخانه‌ای که پدیده‌ای جهانی در تخریب محیط زیست است، دامن می‌زند. همچنین با اجرای طرح هدفمندی یارانه‌ها و واقعی شدن قیمت سوخت از سال ۱۳۸۹ توجه به روش‌هایی که منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی در گلخانه‌ها می‌گردد تا هزینه‌های تولید کاهش یابد اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. اما با توجه به اینکه بهره‌برداری از این منابع نیاز به تکنولوژی‌ها و مطالعات جدید داشته و اغلب سرمایه‌گذاری اولیه زیادی می‌طلبد، استفاده از آن‌ها هنوز در حد مطلوب گسترش پیدا نکرده و سوخت‌های فسیلی با توجه به در دسترس بودن به خصوص در کشورهای نفت خیز از جمله ایران همچنان مورد توجه هستند. به همین دلیل مطالعه در این زمینه یک نیاز برای حفظ آینده بشریت است.

در اکثر تحقیقات گذشته بدون توجه به اثر وجود پوشش گیاهی درون گلخانه بررسی‌ها انجام شده بود، اما در این تحقیق تلاش بر این شد تا پارامترهایی که در سایر تحقیقات مدنظر قرار نگرفته بود مورد توجه قرار گیرد. بررسی اثر دو پارامتر سطح گلخانه و درصد پوشش گیاهی موجود در آن، محققان را در طراحی سیستم مبدل زمین به هوا در گلخانه‌ها با ابعاد و پوشش‌های گیاهی مختلف یاری می‌کند. بدین ترتیب می‌توان سیستمی بهینه با حداکثر کارایی را برای گلخانه مورد نظر اجرایی کرد. هدف از این تحقیق بررسی میزان تأثیر دو عامل مساحت گلخانه و درصد پوشش گیاهی موجود در آن بر روی عملکرد سیستم مبدل زمین به هوا در شرایط آب و هوایی دشت مشهد در سرمایش گلخانه می‌باشد. ثبت تغییرات دمایی درون گلخانه تحت تأثیر سیستم مبدل زمینی با جریان هوا، دمای ورودی به سیستم مبدل و خروجی از آن، دمای محیط، بررسی نهایی عملکرد سیستم و میزان کاهش بار سرمایشی از اهداف دیگر این طرح می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این طرح در زمینی به مساحت تقریبی ۱۵۰ مترمربع واقع در محل دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد اجرا شد. ارتفاع این منطقه ۹۸۵ متر از سطح دریا و با عرض جغرافیایی ۳۷-۳۵ درجه و طول جغرافیایی ۶۰-۵۹ درجه می باشد (Gholami, 2009). سیستم مبدل از لوله فولادی دفن شده در عمق ۴ متری، به طول ۱۸ متر، ۱۰ سانتی‌متر قطر و ۳ میلی‌متر ضخامت ساخته شد. یک سر لوله به دمنده متصل شده بود و انتهای دیگر آن توسط لوله‌های رابط به داخل گلخانه‌ها هدایت می‌شد. یک لوله ۴/۵ متری نیز در محلی نزدیک به دهانه خروجی لوله‌ها به صورت عمودی برای اندازه گیری دمای عمق خاک در نظر گرفته شد. واحدهای گلخانه‌ای با اسکلت فلزی و پوشش پلاستیکی در محل سیستم مبدل ساخته شدند. همچنین از چمن برای ایجاد پوشش گیاهی درون گلخانه در سطوح مختلف استفاده گردید. اغلب از چمن سبز کوتاه که به‌طور کامل زمین را می‌پوشاند و کاملاً از نظر آب تأمین است برای محاسبه تبخیر و تعرق مرجع استفاده می‌شود که به عنوان یک معیار استاندارد تقاضای محیطی در هر محل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Banayan *et al.*, 2004). آزمایشات در سه تکرار و در قالب طرح فاکتوریل با بلوک‌های کاملاً تصادفی اجرا گردید. متغیرهای مستقل مورد بررسی مساحت کف گلخانه در سه سطح ۹، ۱۸ و ۲۷ مترمربع و درصد پوشش گیاهی موجود در آن در سه سطح صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد و متغیر وابسته دمای داخل گلخانه بود. مراحل ساخت و آماده‌سازی گلخانه در شکل ۲ نشان داده شده است. سرعت جریان هوا درون لوله‌های زیر زمینی بر اساس مطالعات صورت گرفته قبلی ۱۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد (Golami, 2009) که برای این منظور از یک دمنده با توان ۵۵۰ وات استفاده گردید. باد سنج دیجیتال پرووا مدل AVM07 با دقت ۰/۱± متر بر ثانیه به منظور تعیین دبی جریان هوا درون لوله‌ها استفاده شد. دماسنج دیجیتالی با دقت ۰/۱± درجه سانتی‌گراد برای اندازه‌گیری دمای داخل گلخانه، دمای محیط، دمای ورودی به سیستم مبدل و خروجی از آن و دماسنج جیوه‌ای برای اندازه‌گیری دمای خاک در عمق ۴ متری زیر سطح زمین استفاده گردید. آزمایشات در حالت

سرمایش در اواخر مرداد و اوایل شهریور ماه سال ۱۳۸۹ انجام شد. یکسان بودن شرایط آب و هوایی از نقطه نظر دمای هوا، شدت وزش باد و صاف و میزان ابرناکی هوا در روزهای انجام آزمایشات مد نظر قرار می‌گرفت که ازطریق سایت هواشناسی پیگیری می‌شد. پس از ثبت نتایج، انرژی مبادله شده و ضریب عملکرد به ترتیب از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد (Abbaspour-Fard *et al.*, 2011). در پایان داده‌ها به منظور انجام مقایسه‌های آماری وارد محیط نرم‌افزار SPSS16 شده و نتایج از طریق اجرای طرح فاکتوریل با بلوک‌های کاملاً تصادفی و آزمون دانکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. همچنین نمودارهای مورد نیاز در محیط نرم‌افزار EXCEL2007 رسم گردید.

$$Q'_{out} = m'_a \times C_p (T_i - T_o) \qquad (۱)$$

$$\mathrm{COP} = \frac{Q'_{out}}{W'_{in}} \qquad (۲)$$

در این رابطه W'_{in}، Q'_{out}، m'_a، T_i، T_o، C_p به‌ترتیب انرژی استفاده شده توسط مبدل ($j\ s^{-1}$)، نرخ گرمای مبادله شده ($j\ s^{-1}$)، نرخ جریان جرمی هوا ($kg\ s^{-1}$)، دمای هوای ورودی به لوله ($^{\circ}C$)، دمای هوای خروجی از لوله ($^{\circ}C$) و گرمای ویژه هوا ($j\ kg^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$) می باشند.

با توجه به انتخاب طرح آماری فاکتوریل با بلوک‌های کاملاً تصادفی و در نظر گرفتن سه سطح برای پارامترهای مستقل، تعداد کل تیمارها ۹ عدد می باشد که با در نظر گرفتن ۳ تکرار برای هر تیمار تعداد کل آزمایشات به ۲۷ عدد می‌رسد. در هر تیمار گلخانه شاهد گلخانه‌ای مشابه بود که سیستم مبدل زمینی در آن نصب نشده بود. آزمایشات تابستان به منظور سرمایش گلخانه انجام شد. تیمارها با در نظر گفتن شرایط زیر به این صورت معرفی می‌شوند:

درصد پوشش گیاهی گلخانه (D)

D_1=0% D_2=50% D_3=100%

مساحت کف گلخانه (S)

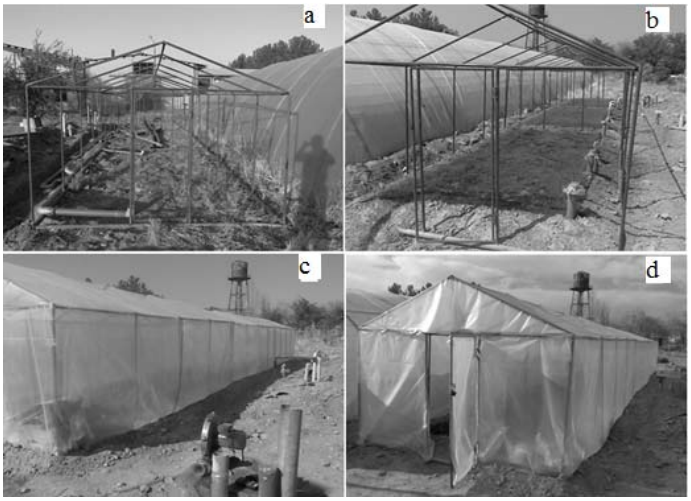
S_3=27 m^2 m^2 S_1=9 m^2 S_2=18

در نتیجه ۹ تیمار عبارتند از:

$D_1S_1, D_1S_2, D_1S_3, D_2S_1, D_2S_2, D_2S_3, D_3S_1, D_3S_2, D_3S_3$

نتایج و بحث

در آزمایشات سرمایش سیستم مبدل زمین به هوا از ساعت ۹ صبح شروع به کار کرده و دمای محیط (T_a)، دمای داخل گلخانه (T_G)، دمای داخل گلخانه شاهد (T_{Gs})، دمای خاک (T_s) دمای هوای ورودی به لوله‌ها (T_i) و دمای هوای خروجی از آن (T_o)، تا ساعت ۱۷ برای تمام تیمارها در روزهای مختلف ثبت شدند. در ابتدا آزمایش سرمایش به‌صورت چرخه بسته انجام شد، یعنی هوای داخل گلخانه به درون سیستم مبدل هدایت گردید، اما به‌دلیل چگالش هوای مرطوب داخل گلخانه درون لوله‌های زیرزمینی و تجمع آب در آن‌ها، دمنده در محیط بیرون قرار گرفته و هوای تازه محیط بیرون به داخل لوله‌ها هدایت شد. این پدیده با افزایش درصد پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش تبخیر و به دنبال آن بالا رفتن رطوبت نسبی داخل گلخانه تشدید می‌شد.



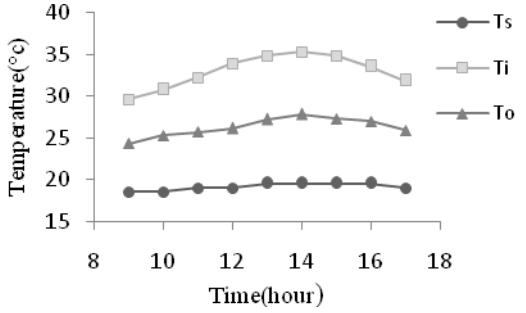
شکل۲- مراحل ساخت گلخانه: (a) ساخت اسکلت گلخانه. (b) کشت چمن. (c and d) ایجاد پوشش پلاستیکی بر روی اسکلت و تکمیل ساختمان گلخانه

Fig.2. Greenhouse construction: a) greenhouse frame; b) greenhouse vegetation; c and d) complete greenhouse with PE cover

این موضوع در هیچ یک از مطالعات صورت گرفته اشاره نشده است و در نتیجه اولین بار است که گزارش می‌شود.

شکل ۳ میانگین دمای خاک، دمای ورودی به سیستم مبدل (دمای محیط) و خروجی از آن را در طول آزمایشات در یک نمودار نشان می‌دهد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود دمای خاک در طول روز تقریباً ثابت و در حدود ۱۹ تا ۲۱ درجه سانتی‌گراد نوسان داشت. این نوسانات جزئی نمی‌تواند ناشی از تغییرات دمای خاک باشد، بلکه بیشتر ناشی از تبادل گرما در چاهک اندازه‌گیری و محیط بیرون است. نتایج نشان می‌دهد که دمای هوای محیط پس از عبور از لوله‌های زیر زمینی و تبادل حرارتی با خاک خنک شده و وارد گلخانه می‌گردد. اختلاف دما حول ساعت ۱۴ بین ورودی و خروجی مبدل به‌دلیل افزایش اختلاف دمای هوای ورودی و دمای خاک افزایش یافته است. این اختلاف دما عامل انتقال حرارت از یک ماده به ماده دیگر است. به همین دلیل با افزایش اختلاف دما بین دو ماده گرمای بیشتری بین آن‌ها مبادله می‌شود. همچنین سیستم مبدل زمین به هوا توانسته است نوسانات دمای هوای ورودی به گلخانه را کاهش داده و هوایی با دمای نسبتاً یکنواخت را برای ورود به گلخانه فراهم کند.

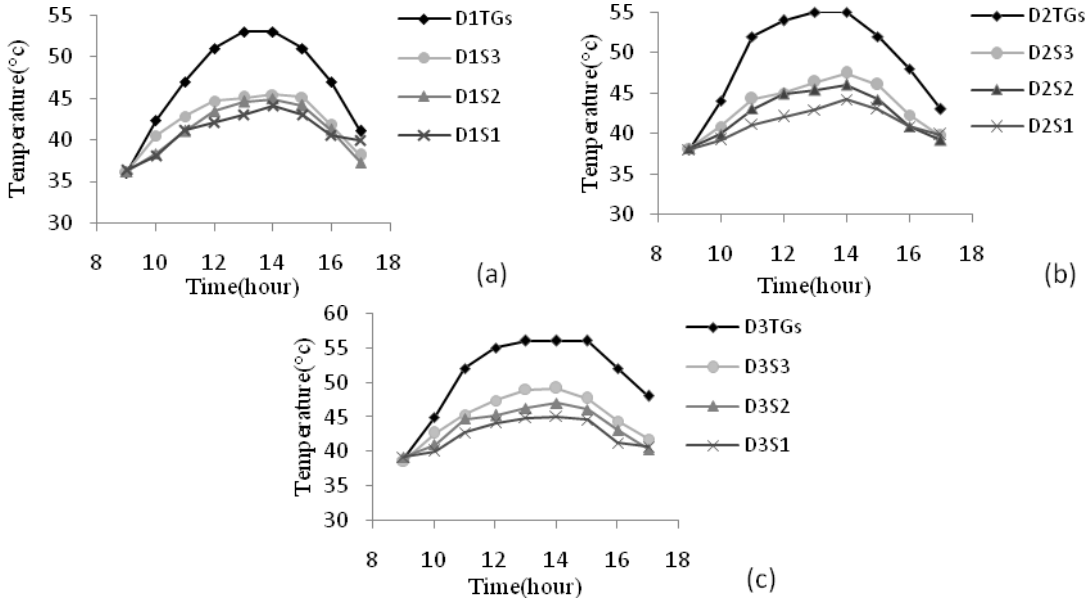
پس از ثبت نتایج در تیمارهای مختلف و به منظور مشاهده بهتر اختلاف دمایی ایجاد شده بین گلخانه‌های شاهد و تیمارها، نتایج در قالب نمودارهای شکل ۴ ارائه شده است. این نمودارها در پوشش‌های گیاهی صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد به صورت جداگانه و در سطوح مختلف مساحت کف گلخانه رسم شده است.



شکل ۳- نمودار دمای خاک (T_s)، دمای ورودی به سیستم مبدل (T_i) و خروجی از سیستم مبدل (T_o)

Fig. 3. Soil temperature (T_a), Inlet (T_i) and outlet (T_o) temperature of the EAHE.

همان‌طورکه در نمودار شکل ۴ مشاهده می‌شود، بین گلخانه شاهد که فاقد سیستم مبدل زمین به هواست با سایر تیمارها در هر سه سطح پوشش گیاهی صفر، ۵۰ و ۱۰۰ درصد به‌ترتیب در شکل‌های (a)، (b) و (c) اختلاف محسوسی وجود دارد. نوسانات دمایی در گلخانه‌های شاهد به شدت زیاد می‌باشد، اما گلخانه‌های تحت تأثیر سیستم مبدل شرایط پایدارتری داشته و سامانه توانسته است از نوسانات شدید دمایی در طول روز و به خصوص ساعات گرم در این گلخانه‌ها تا حدودی بکاهد.



شکل ٤- نمودارهای دمای گلخانه شاهد و تیمارها (a) بدون پوشش گیاهی، (b) پوشش گیاهی ۵۰ درصد و (c) پوشش گیاهی ۱۰۰ درصد

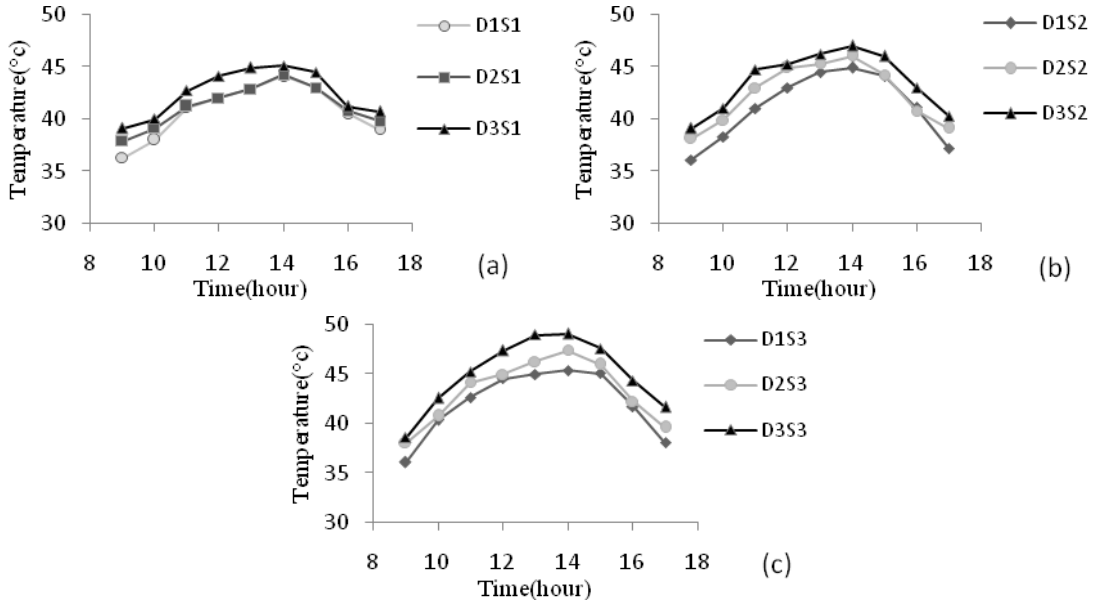
Fig.4. Greenhouse control and treatment temperature diagrams, (a) without vegetation coverage, (b) 50% vegetation coverage and (c) 100% vegetation coverage

همچنین بین گلخانه‌های با سطوح ۹، ۱۸ و ۲۷ مترمربع نیز به‌دلیل ثابت بودن دبی جریان هوا در تمامی آزمایشات اختلاف ایجاد شده است که این امر به‌دلیل متفاوت بودن حجم هوای داخل گلخانه بزرگ‌تر نسبت به گلخانه کوچک‌تر است که مدت زمان بیشتری نیاز است تا هوای گلخانه بزرگ‌تر با هوای خنک شده توسط سیستم مبدل زمین به هوا جایگزین گردد. بدین ترتیب گلخانه‌های کوچک‌تر خنک‌تر هستند. هر چند این نتیجه بدیهی به نظر می‌رسد اما می‌توان در تحقیقات آینده با در نظر گرفتن روند تغییرات دمایی ایجاد شده بین سطوح مختلف گلخانه با ارائه مدل‌هایی، رابطه‌ای بین دمای خاک، دمای مطلوب گلخانه و دبی جریان هوا فراهم نمود تا زمینه طراحی و عملیاتی کردن این سیستم فراهم گردد، بدین ترتیب مطالعات بیشتر در این زمینه احساس می‌شود.

در ابتدای شروع داده‌برداری در ساعت ۹ به‌دلیل اینکه دمنده تازه روشن شده دمای تمامی گلخانه‌ها تقریباً یکسان می‌باشد. اما با گذشت زمان و ورود هوای تازه به گلخانه از طریق سیستم مبدل زمین به هوا، دمای داخل گلخانه‌ها رفته رفته نسبت به گلخانه شاهد پایین‌تر آمده است. طبق نمودار شکل ۴ بیشترین اختلاف دمایی بین گلخانه شاهد و تیمارها در فاصله زمانی ساعت ۱۲تا ۱۴ اتفاق افتاده است. این امر به دلیل افزایش اختلاف دما بین هوای ورودی به سیستم مبدل زمین به هوا و خاک است که باعث افزایش انتقال گرما از هوا به زمین شده و هوا با اختلاف دمایی بیشتری وارد گلخانه شده است. به‌طوری‌که در اواسط روز و در بحرانی‌ترین زمان‌ها میانگین اختلاف دمای ایجاد شده بین تیمارها و شاهد درحدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

در نمودارهای ارائه شده در شکل ۵ اختلاف دمای بین گلخانه‌های با مساحت کف یکسان و درصد پوشش گیاهی مختلف نشان داده شده است. تأثیر پوشش گیاهی بر دمای گلخانه‌های تحت تأثیر سیستم مبدل زمین به هوا در این نمودارها قابل مشاهده است. با افزایش درصد پوشش گیاهی درون گلخانه دمای داخل آن افزایش می‌یابد. این امر به‌دلیل افزایش فرآیند فتوسنتز و تبخیر و تعرق رخ می‌دهد. به دنبال افزایش تبخیر و تعرق گیاه و افزایش فرآیند فتوسنتز، پدیده اثر گلخانه‌ای تشدید گردیده و انرژی حرارتی ورودی ناشی از تشعشع خورشیدی امکان خروج از طریق انعکاس را ندارد. بدین ترتیب بیشتر تشعشع بازتابش شده از درون گلخانه به‌دلیل وجود بخار آب که یک گاز گلخانه‌ای است درون گلخانه به دام افتاده و نتیجه آن بالا رفتن دما خواهد بود (Koocheki and hosseini, 2006). بدین ترتیب در گلخانه‌های با مساحت یکسان، افزایش پوشش گیاهی باعث افزایش دمای درون گلخانه خواهد شد.

به‌دلیل تغییرات دمایی زیاد در طول روز، استفاده از میانگین دمایی کل روز در تجزیه و تحلیل داده‌ها ممکن است نتیجه مطلوبی نداشته باشد.



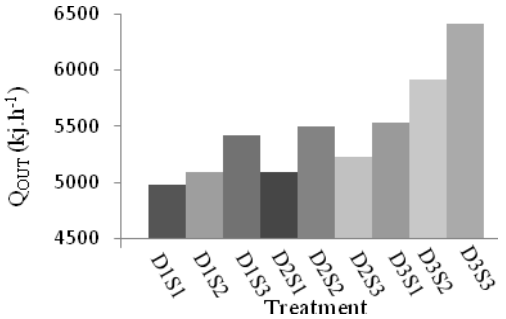
شکل ۵- نمودارهای دمای گلخانه تحت تاثیر سیستم مبدل در پوشش‌های گیاهی مختلف (a) گلخانه‌های ۹ مترمربعی، (b) گلخانه‌های ۱۸ مترمربعی، (c) گلخانه‌های ۲۷ مترمربعی

Fig. 5. Greenhouse temperature diagrams of the EAHE system with different vegetation coverage (a) 9m^2 Greenhouses, (b) 18m^2 Greenhouses (c) 27m^2 Greenhouses

بدین منظور طرح آماری برای داده‌های به‌دست آمده در سه بازه زمانی صبح (۹،۱۰،۱۱)، ظهر (۱۲،۱۳،۱۴) و عصر (۱۵،۱۶،۱۷) اجرا شد. نتایج به‌صورت جداگانه در جدول۱ قابل مشاهده است. همان‌طورکه در جدول۱ مشاهده می‌شود هر دو پارامتر مساحت کف گلخانه و درصد پوشش گیاهی موجود در آن در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده‌اند، بدین معنی که به احتمال ۹۹ درصد این دو پارامتر بر روی دمای گلخانه‌ای که تحت تأثیر سیستم مبدل زمین به هوا است، تأثیر معنی‌دار دارند. همچنین اثر متقابل این دو پارامتر نیز در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار شده است، بدین معنی که این دو پارامتر در نتایج به‌دست آمده به احتمال ۹۹ درصد به‌صورت مستقل عمل نمی‌کنند.

همان‌طورکه اشاره شد در حالت سرمایش هوای خنک خروجی از مبدل وارد گلخانه شده و از سمت دیگر هوای گرم و مرطوب گلخانه از آن خارج می‌شود. بدین ترتیب سیستم مبدل زمینی با جریان هوا مقداری از انرژی اضافی وارد شده به گلخانه از طریق تابش خورشیدی را دفع می‌کند. مقادیر انرژی خروجی از گلخانه در ساعات مختلف روز توسط رابطه (۱) محاسبه شده و میانگین مقادیر به‌دست آمده در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

با در نظر گرفتن میانگین انرژی حرارتی مبادله شده در ساعت برای تیمارهای مختلف نمودار شکل۶ بیشترین میزان انرژی مبادله شده را در تیمار D_3S_3 نشان می‌دهد. همچنین کمترین مقدار انرژی نیز در تیمار D_1S_1 بین گلخانه و محیط بیرون مبادله شده است. بیشترین و کمترین ضریب عملکرد نیز با استفاده از رابطه (۲) برای همین دو تیمار و به‌ترتیب برابر ۴/۳۲ و ۳/۳۵ به‌دست آمد. البته با درنظر گرفتن حجم هوای داخل گلخانه در سطوح مختلف ۹، ۱۸ و ۲۷ مترمربعی که به ترتیب برابر ۱۸، ۳۶ و ۵۴ متر مکعب می‌باشد، میانگین انرژی مبادله شده در واحد حجم هوای گلخانه در ساعت مطابق جدول ۲ خواهد بود. بر اساس این مقادیر بیشترین انرژی مبادله شده در واحد حجم گلخانه در ساعت در تیمار D_3S_1 ایجاد شده است. یعنی سیستم مبدل زمین به هوا توانسته است در هر ساعت، از هر متر مکعب هوای این گلخانه ۳۰۷/۵ کیلوژول انرژی خارج کند.



شکل ٦- میانگین انرژی خروجی از تیمارهای مختلف گلخانه به محیط بیرون در طول روز

Fig. 6. Average energy displacement of different treatments in the greenhouse to the outside during the day

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس مساحت کف گلخانه و درصد پوشش گیاهی بر کارآیی مبدل زمین به هوا

Table 1- Variance analysis of greenhouse area and vegetation coverage on EAHE efficiency

منابع تغییرات (SV) Sources variation	درجه آزادی (df) Degree of freedom	میانگین مربعات (MS) Mean squares		
بازه زمانی (ساعت) Period (hour)		صبح Morning	ظهر Noon	عصر Afternoon
مساحت کف گلخانه (S) Greenhouse floor area	2	5.266**	20.523**	5.541**
درصد پوشش گیاهی گلخانه (D) Vegetation coverage	2	14.799**	12.739**	10.634**
اثر متقابل (DS) Mutual effect of	4	0.252**	1.025**	0.670**
خطا (e) Error	18	0.29	0.26	0.051
کل (T) Total	26			

** معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

جدول۲- میانگین انرژی خروجی در واحد حجم گلخانه ($kj\ h^{-1}.m^{-3}$)

Table 2- Average output energy per unit volume of greenhouse ($kj\ h^{-1}.m^{-3}$)

میانگین انرژی Average energy	تیمار Treatment	میانگین انرژی Average energy	تیمار Treatment	میانگین انرژی Average energy	تیمار Treatment
307.5	D_3S_1	286.2	D_2S_1	276.5	D_1S_1
164.5	D_3S_2	155.4	D_2S_2	141.5	D_1S_2
118.8	D_3S_3	110.4	D_2S_3	100.3	D_1S_3

نتیجه‌گیری

در تابستان رطوبت هوای داخل گلخانه افزایش می‌یابد و با توجه به اینکه دمای عمق خاک پایین‌تر از دمای گلخانه است، رطوبت موجود در هوا درون لوله‌ها تقطیر شده و باعث مسدود شدن آن‌ها می‌شد. در نتیجه امکان استفاده از سیکل بسته وجود نداشت. به‌منظور رفع این مشکل سیکل باز مورد استفاده قرار گرفت، بدین ترتیب که هوای محیط که رطوبت پایین‌تری داشت به درون لوله‌ها هدایت شده و به گلخانه‌ها وارد شد. اثر دو پارامتر مساحت گلخانه و درصد پوشش گیاهی موجود در آن، همچنین اثر متقابل این دو پارامتر در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار شده است و این دو متغیر مستقل اثر معنی‌داری بر عملکرد سیستم مبدل زمینی با جریان هوا دارند. در پایان نیز با توجه به نتایج به‌دست آمده بهترین معیار برای انتخاب گلخانه مناسب برای سیستم مبدل مورد نظر در این تحقیق میانگین انرژی خارج شده از واحد حجم هوای داخل گلخانه می‌باشد. بنابراین بهترین گزینه برای سیستم مبدل زمین به هوای مورد استفاده در این تحقیق، گلخانه D_3S_1 خواهد بود که بیشترین انرژی خروجی از واحد حجم گلخانه و برابر ۳۰۷/۵ کیلوژول را دارا می‌باشد.

منابع

1. Abbaspour-Fard, M. H., A. Gholami, M. Khojastehpour. 2011. Evaluation of an earth-to-air heat exchanger for the north-east of Iran with semi-arid climate. International Journal of Green Energy, 8: 499-510.
2. Banayan, M., M. Jami Al-Ahmadi, B. Kamkar, A. Mahdavi Damghani, M. Salehi. 2004. Principle of tropical agronomy. Ferdowsi university of Mashhad press. Mashhad (In Farsi).
3. Gholami, A. 2009. Investigation and Evaluation Effective Factors on Heating and Cooling in the Earth-to-air heat exchanger system. MSc Thesis Faculty of Agriculture. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (In Farsi).
4. Ghosal, M. K., G. N. Tiwari, D. K. Das, K. P. Pandey. 2005. Modeling and comparative thermal performance of ground air collector and earth air heat exchanger for heating of greenhouse. Journal of Energy and Buildings, 37: 613-621.
5. Kocheki, A., and M. Hoseini, 2006. Climate change and global crop productivity. Ferdowsi University of Mashhad press, Mashhad, Iran (In Farsi).
6. Molahoseini, H. and M. Sielspour. 2008. Greenhouse crops production management. Avaye masih. Tehran, Iran (In Farsi).
7. Mustafa Omer, A. 2008. Ground-source heat pumps systems and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 12: 344-371.
8. Ozgener, L., Ozgener, O. 2010. An experimental study of the exergetic performance of an underground air tunnel system for greenhouse cooling. Journal of Renewable Energy, 35: 2804-2811.
9. Sethi, V. P., Sharma, S. K. 2008. Survey and evaluation of heating technologies for worldwide agricultural greenhouse applications, Journal of Solar Energy, 82: 832–859.
10. Santamouris, M., G. Mihalakakou, C. A. Balaras, J. O. Lewis, M. Vallindras, A. Argiriou. 1996. Energy conservation in greenhouses with buried pipes. Journal of Energy, 21: 353-360.