یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک
بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

بررسی و مقایسه سیستم‌های حرارتی گلخانه‌ها

مهدی نصوری گزنی[۱]، غلامرضا چگینی[۲] ، علی ماشاءاله کرمانی[۳] ، محمد ابونجمی[۴]

[۱]دانشجو کارشناسی ارشد مکانیک بیوسیستم؛nasouri.mahdi.ga@ut.ac.ir
[۲]دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه تهران؛chegini@ut.ac.ir
[۳]استادیار و عضو هیئت علمی دانشگاه تهران؛amkermani@ut.ac.ir
[۴]دانشیار و عضو هیئت علمی دانشگاه تهران؛ abonajmi@ut.ac.ir

چکیده

گلخانه یکی از بخش‌های مهم در صنعت کشاورزی است، چرا که در عصر حاضر بدلیل افزایش جمعیت نسبت به گذشته نیاز به افزایش تولید محصولات و مواد غذایی زیاد است و بدلیل شرایط نامتعادل اقلیمی و آب و هوایی باید به صنعت گلخانه روی آورد. در گخانه‌ها بدلیل بسته بودن محیط و عدم امکان خروج برخی اشعه‌های تابش خورشید به علت اثر گلخانه‌ای خصوصاً در فصل تابستان به شدت گرم می‌شود و باعث کاهش بازدهی گلخانه‌ها می‌شود. از این رو برای مقابله با این اتفاق خنک‌سازی محیط گلخانه ها امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. برای انجام عملیات خنک‌سازی روش‌های متفاوتی از قبیل استفاده از سقف‌های خنک‌کننده، مبدل حرارتی زمین به هوا، تولید مه و... وجود دارد که هرکدام از روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند. برای مثال سیستم مه بیشترین بازدهی را در بین سیستم‌های خنک‌کننده در فصل تابستان دارد، ولی در فصل‌های بارانی کاربرد چندانی ندارد. بنابراین کشاورزان باید باید با توجه به زمان و شرایط اقلیمی و جغرافیایی و محصول مورد نظر خود برای کاشت در گلخانه با علم به این که آن محصول چه میزان رطوبت و حرارت نیاز دارد، اقدام به تهیه یک سیستم خنک‌کننده برای گلخانه خود نمایند.

کلمات کلیدی: گلخانه، خنک‌کننده، حرارت

Study and comparison of thermal systems in greenhouses

Mahdi Nasouri-Gazani[1], Gholam Reza Chegini[2], Ali Mashaallah Kermani[3], Mohammad Abonajmi[4]

1 M.Sc Student, Uinversity of Tehran, nasouri.mahdi.ga@ut.ac.ir
2 Associate Professor, Faculty member of Uinversity of Tehran, chegini@ut.ac.ir
3 Assistant Professor, Faculty member of Uinversity of Tehran, amkermani@ut.ac.ir
4 Associate Professor, Faculty member of Uinversity of Tehran, abonajmi@ut.ac.ir

ABSTRACT

The greenhouse is one of the most important sectors in the agricultural industry, because in the present age, due to the increase in population, the need to increase the production of products and food is high and due to unfavorable climatic and climatic conditions, the greenhouse industry . In factories due to the closed environment and the impossibility of exiting some of the radiation from the sun due to the greenhouse effect, especially in summer, it is heavily heated and reduces the efficiency of greenhouses. Therefore, in order to counteract this, it is necessary and inevitable to cool the greenhouse environment. Different methods are used for cooling operations, such as the use of cooling ceilings, geotermal, fogging, etc. Each of the methods has advantages and disadvantages. For example, the fog system has the highest efficiency among cooling systems in the summer season, but does not use in rainy season. Therefore, farmers need to prepare a cooling system for their greenhouse due to the time and climate and geography and the product they want to plant in the greenhouse, knowing how much the product needs to be moisture and heat.

Keywords: Green house, Cooling, Heat

۱- غلامرضا چگینی – نشانی : استان تهران، بلوار امام رضا، پردیس ابوریحان

۱- مقدمه

گلخانه یکی از بخش‌های مهم در صنعت کشاورزی است، چرا که در عصر حاضر بدلیل افزایش جمعیت نسبت به گذشته نیاز به افزایش تولید محصولات و مواد غذایی زیاد است و بدلیل شرایط نامتعادل اقلیمی و آب و هوایی باید به صنعت گلخانه روی آورد. گلخانه آب و هوایی ساختگی در یک فضای کوچک است که می‌توان آن را با استفاده از ساختمان شیشه‌ای/پلاستیکی شفاف مشابه با ویژگی‌های گلخانه جهانی پدید آوردو برای رشد بهینه گیاهان زنده (مانند گل‌ها سبزیجات و همانند این‌ها) و برای دستیابی به بیشترین تولید محصول در طول فصول و همچنین در فصل‌های بدون تولید طبیعی محصول (دوره‌ی پیش از برداشت و پس از برداشت) به کار گرفت(Mahdavi et al). در گخانه‌ها بدلیل بسته بودن محیط و عدم امکان خروج برخی اشعه‌های تابش خورشید به علت اثر گلخانه‌ای خصوصاً در فصل تابستان به شدت گرم می‌شود و باعث کاهش بازدهی گلخانه‌ها می‌شود. از این رو برای مقابله با این اتفاق خنک‌سازی محیط گلخانه ها امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. برای انجام عملیات خنک‌سازی روش‌های متفاوتی از قبیل استفاده از سقف‌های خنک‌کننده، مبدل حرارتی زمین به هوا، تولید مه و ... وجود دارد که هرکدام از روش‌ها دارای مزایا و معایبی می‌باشند که می‌بایست با توجه به درک درست از رفتار حرارتی گلخانه ها و شرایط محیطی و اقلیمی محل گلخانه‌ها نسبت به انتخاب سیستم خنک‌کننده اقدام نمود. مطالعات پیشین در خنک‌کننده گلخانه‌ای نشان می دهد، که در روش های مورد استفاده برای سرمایش گلخانه‌ها بستگی به شرایط اقلیمی منطقه دارد. بنابراین پیدا کردن روشهای خنک‌کننده مناسب با شرایط اقلیمی و آب و هوایی مختلف و درنتیجه تلاش تحقیقاتی برای توسعه فناوری خنک‌کننده قابل اجرا، امری حیاتی به نظر میرسد(Shojaee et al). لذا هدف این تحقیق بررسی مروری انواع سیستم‌های خنک کننده بکار رفته در گلخانه‌ها و بررسی مزایا و معایب آن ها می باشد.

۲- خنک‌سازی گلخانه‌ها

۲-۱ انواع سیستم‌های خنک‌سازی

خنک‌سازی تنها راه ممکن برای کمک به افزایش راندمان و بازدهی گلخانه‌ها در فصل تابستان می‌باشد که در روش‌های متفاوتی با توجه به شرایط آب و هوایی گلخانه و محیط اجرا می‌شود.

۱- روش‌های خنک سازی تهویه هوای گلخانه؛ در این روش با بکارگیری و نصب تعدادی فن تهویه هوا بر روی دیواره و یا سقف گلخانه اقدام به خنک‌سازی می‌کنند (شکل۱). برای خنک کننده موثر، یک سطح کل خروجی معادل ۱۵-۳۰٪ از سطح کف توصیه می شود. میزان تهویه هوا در این روش با توجه به سرعت باد افزایش می‌یابد(Sethi & Sharma, 2007).

۲- خنک‌سازی گلخانه با استفاده از توری سایبان: سایه زنی یک روش ارزان، آسان و موثر برای کنترل تابش بیش از حد خورشیدی در تابستان است (شکل ۲). استفاده از ورق های بازتابنده آلومینیوم می تواند علاوه بر کنترل شدت نور و تابش خورشید، دمای گلخانه را ۶-۳ درجه سانتیگراد در شرایط تابستان کاهش دهد(شکل۲ روش سایه) (Sethi & Sharma, 2007).

۳-روش دیگر خنک‌سازی مبدل حرارتی زمین به هوا است که در این روش از لوله‌هایی که به عنوان پایه‌های ساختمان گلخانه استفاده می‌شوند برای انتقال حرارت استفاده می‌شود، این روش به صورت دو منظوره می‌باشد که در زمستان برای گرم کردن گلخانه و در تابستان برای خنک کردن گلخانه کاربرد دارد. در این روش طول، قطر و عمق دفن لوله‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند(شکل۳ مبدل حرارتی زمین به هوا)(; Shojaee et al Mahdavi et al).

۴-روش دیگر خنک‌سازی سیستم پد و فن است، سیستم‌های پد و فن شامل فن‌های خروجی در یک سمت گلخانه و پمپ سیرکولاسیون آب در سمت دیگر گلخانه که در پد متخلخل مستقر شده می‌باشد. سیستم پد خنک‌سازی تبخیری شامل پدها، فن‌ها، پمپ سیرکولاسیون، جمع‌اوری و ذخیره آب، فیلترها، توزیع یا هیدر لوله‌ها می‌باشد(شکل۴. سیستم پد-فن)(Rezaei et al. 2012)

۵-روش دیگر خنک‌سازی گلخانه‌ها تولید مه است که خود در مدل‌های مختلف و با دستگاه‌های متفاوتی انجام می‌شود. اما به طور کلی می‌توان به کاهش ۸٪ دما هوا (Katsoulas, Savvas, Tsirogiannis, Merkouris, & Kittas, 2009 Merkouris, & Kittas, 2009 Merkouris, & Kittas, 2009)و ۳۶٪ صرفه جویی در آب و ۳۰٪ صرفه جویی در انرژی(.Villarreal-Guerrero et al) به عنوان مزیت‌های این روش اشاره کرد(شکل۵. سیستم مه‌پاش).

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

Fig1. Ventilation method
شکل۱. روش تهویه طبیعی

Fig2. Shadow method
شکل۲. روش سایه

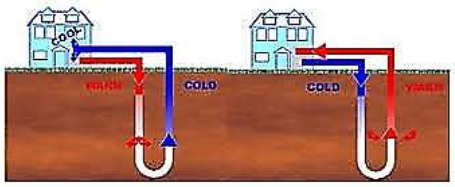

Fig3. Geothermal method
شکل۳. روش مبدل حرارتی زمین به هوا (زمین گرمایی)

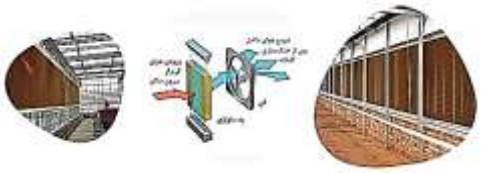

Fig4. Pad and fan method
شکل۴. روش پد و فن

Fig5.Fogging method
شکل۵. روش مه‌پاش

۲-۲ اصول و نحوه عملکرد هر سیستم

در روش مبدل حرارتی پمپ حرارتی ژئوترمال یک برنامه کاربردی مؤثر از انرژی زمین گرمایی است و از زمین به عنوان یک منبع حرارت برای استخراج گرما از آن استفاده می کند و زمین را در زمستان گرم می کند و یا از زمین به عنوان منبع گرما برای تبدیل گرما به آن استفاده می کند و در طول تابستان سرد می شود(Herez et al., 2017). زمین به علت درجه حرارت ثابت خود 28 - 26 (درجه سلسیوس)برای خنک کردن گلخانه در تابستان با استفاده از سامانه تبادل حرارت هوا به زمین استفاده میشود. سانتاموریز و همکاران(Kooli, Lazaar, Hazami, Farhat, & Belghith, 2009). عملکرد مبدل‌های حرارتی زمین به هوا برای حفظ انرژی در خنک کردن گلخانه‌های پلاستیکی را از طریق یک مدل ریاضی موردمطالعه قراردادند. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل پارامتری گویا این متلب است که طول لوله‌ها، قطر لوله‌ها و سرعت هوا در داخل لوله‌ها تاثیر قابل توجهی بر بازدهی سامانه دارند(shojaee et al). تغییرات زیاد دما بین ساعت‌های روز و شب در تابستان و زمستان اثرات نامطلوبی بر میزان و کیفیت پرورش محصولات در گلخانه دارد. برای غلبه بر این مشکل استفاده از انرژی حرارتی ذخیره شده و تقریبا پایدار زمین از طریق یک سیستم مناسب که بتواند منبع انرژی جایگزین و کم هزینه‌ای برای گرمایش یا سرمایش ساختمان‌ها و به طور مشابه گلخانه‌ها فراهم آورد، اهمیت اساسی دارد. گرفتن گرما از زمین یا دادن گرما به آن بدلیل ظرفیت گرمایی بالای آن در عمق مذکور،تاثیری بر دمای آن در آن عمق نخواهد داشت. بنابراین اتصال ساختمان یا گلخانه به زمین توسط لوله‌های دفن شده به این دلیل که تحت تاثیر عوامل آب و هوایی کوتاه مدت نیست راهبرد صحیحی در رسیدن به اهداف گرمایشی و سرمایشی می‌باشد. در طی زمستان حرارت از زمین به گلخانه منتقل می‌شود و در تابستان گرمای اضافی گلخانه به زمین منتقل می‌شود که این موضوع کاهش بارهای گرمایشی و سرمایشی گلخانه را که بیشترین مصرف انرژی را دارند در پی دارد(mahdavi et al). در شکل‌های ۶ و ۷ به ترتیب یک تصویر شماتیک از یک گلخانه با سیستم مبدل حرارتی زمین گرمایی و یک تصویر از لوله‌های زیرساخت سیستم مبدل حرارتی زمین گرمایی را مشاهده می‌شود.

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران

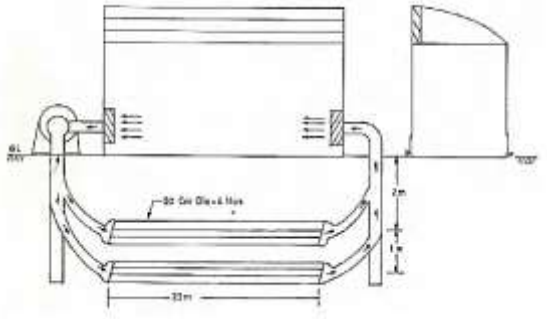

Fig6. Greenhouse with geotermal method
شکل۶. گلخانه با سیستم مبدل حرارتی زمین گرمایی

Fig7. Pre covering
شکل۷. قبل از پوشش

در روش تولید مه آب را با استفاده از تکنیک‌های مختلفی از قبیل (پنوماتیک، فراصوت و ...) به قطراتی بسیار ریز در سطح میکرون تبدیل می‌کنند و در فضای گلخانه پخش می‌کنند که قطرات آب حرارت محیط را به خود جذب کرده و بخار می‌شوند که باعث پایین آمدن دما و افزایش رطوبت محیط می‌شود. خنک کننده‌های تبخیری هنگامی که رطوبت پایین تر است، بسیار موثرند. خوشبختانه رطوبت نسبی معمولا در گرمترین زمان طول روز پایین تر است. گرمای خورشید وارد شده داخل گلخانه میزانی از اثر خنک‌کنندگی را از بین می‌برد(Rezaei et al. 2012). سیستم های تبخیری هنگامی که رطوبت پایین‌تر است، بسیار موثرند. از مزایا این روش می‌توان به این موضوع اشاره داشت که علاوه بر خنک‌سازی محیط گلخانه باعث تولید رطوبت وجذب آن توسط گیاهان می‌شود. اینگونه در مصرف آب و انرژی نیز صرفه جویی می‌شود. در شکل ۸ یک تصویر شماتیک از سیستم مه‌پاش ناطلی را مشاهده می‌کنید که برای اجرای آن نیاز به لوله‌کشی در محیط گلخانه و یک پمپ می‌باشد. اگرچه این روش برای کشاورز هزینه‌هایی در بر دارد، ولی با توجه به بازدهی عملکرد آن باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و صرفه‌جویی در مصرف آب می‌شود.

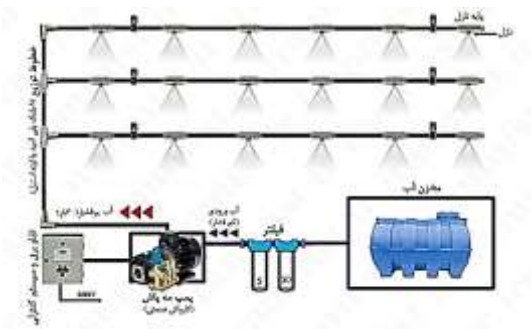

Fig8. Greenhouse fog system
شکل۸. سیستم مه پاش گلخانه

یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم (ماشین‌های کشاورزی) و مکانیزاسیون ایران

سیستم پد و فن یکی دیگر از روش‌های خنک‌سازی گلخانه است. برای کاربرد در گلخانه، هنگامی که پدهای خنک‌سازی تبخیری جهت سرد کردن گیاهان در وسط قرار گیرند بیشترین تاثیر را دارند. خنک کننده‌های تبخیری هنگامی که رطوبت پایین تر است، بسیار موثرند. خوشبختانه رطوبت نسبی معمولا در گرمترین زمان طول روز پایین تر است. گرمای خورشید وارد شده داخل گلخانه میزانی از اثر خنک‌کنندگی را از بین می‌برد. سیستم‌های پد و فن شامل فن‌های خروجی در یک سمت گلخانه و پمپ سیرکولاسیون آب در سمت دیگر گلخانه که در پد متخلخل مستقر شده می‌باشد. سیستم پد خنک‌سازی تبخیری شامل پدها، فن‌ها، پمپ سیرکولاسیون، جمع‌اوری و ذخیره آب، فیلترها، توزیع یا هیدر لوله‌ها می‌باشد. حداکثر فاصله قابل استفاده در گلخانه‌ها از پد و فن نباید از ۲۰۰ فوت تجاوز کند. برای اکثر گلخانه‌ها، به ازای هر ۲۰ فوت فاصله پد نسبت به فن، یک فوت ارتفاع برای پد مورد نیاز است. توجه به این نکته مهم است که پدها را در جهت باد غالب ساختمان در طی ماه‌های سال قرار دهیم و فن در جهت روبرو نصب شود(Rezaei et al. 2012).

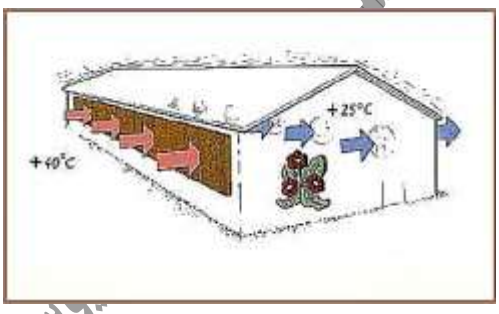

Fig9. Evaporative cooling fan system
شکل۹. سیستم پد و فن خنک‌سازی تبخیری

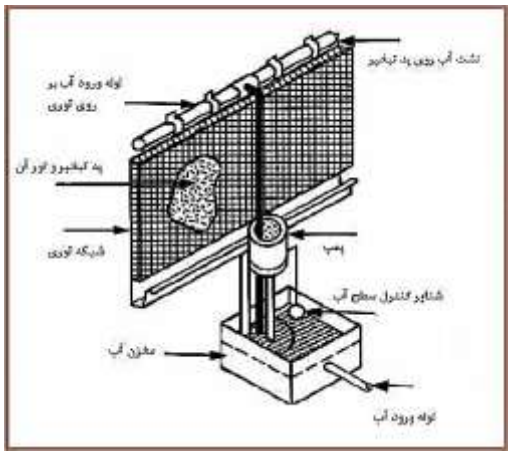

Fig10. Evaporative Pad System
شکل۱۰. سیستم پد تبخیری

در روش سایه معمولا از صفحاتی در قسمت سقف گلخانه‌ها استفاده می‌کنند تا مانع ورود اشعه‌های خورشید به محیط گلخانه شوند که در بعضی موارد از صفحات آلومینیمی بازتابنده برروی دیواره سقف استفاده می‌کنند، که این امر موجب کاهش دمای گلخانه می‌شود ولی از طرفی باعث ایجاد مشکل در رشد و عمل فتوسنتز گیاهان بدلیل عدم ورود نور می‌شود. در بعضی موارد نیز از پارچه‌هایی در زیر سقف استفاده می‌کنند که باعث کاهش دمای محیط نسبت به گلخانه‌های دیگر می‌شود وبا قرار دادن یک لوله افقی آب در زیر سقف و مرطوب شدن پارچه شاهد کاهش دمای بیشتری خواهیم بود(Sethi & Sharma, 2007).

۳- مروری بر پیشینه پژوهشی

محمدحسین شجاعی و همکاران با بررسی سامانه‌های خنک کننده گلخانه‌ها دریافتند که در مناطق مرطوب و گرمسیری استفاده از فن و پد و مه پاش با توجه به بالا بودن سطح رطوبت مناسب نیست .سامانه فن و پد بهترین انتخاب در زمینهای با رطوبت کم استوایی که دمای گلخانه را بدون سایه ۴-۶ و با سایه۱۲-۴ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد. سامانه مه نیز در اوج تابستان دمای گلخانه را ۸-۳ درجه کاهش می‌دهد. سامانه مبدل حرارتی زمین به هوا هرچند میتواند دمای هوای داخل را به میزان قابل توجهی کاهش دهد، اما اشکال عمده استفاده از EAHES دخالت هزینه اولیه و طول عمر کم لوله‌های فلزی به علت خوردگی اس(Shojaee et al).

احمد فخار و همکاران در مطالعه‌ای در خصوص سیستم خنک کننده خورشیدی جهت کشت گلخانه ای در مناطق آب و هوایی بسیار گرم در سال ۱۳۹۶ دریافتند که سیستم خنک کننده خورشیدی(پد و فن) که در اغلب کشورهای منطقه استفاده می‌شود می‌تواند دمای هوا را تا ۱۵ درجه سانتی‌گراد کاهش دهد که این میزان ۵ درجه بیشتر از سیستم‌های تهویه طبیعی است(Fakhar et al. 2017).

سعید مهدوی و همکاران با بررسی عملکرد یک گلخانه خورشیدی متصل به گردآورنده‌های فتوولتائیک/حرارتی و مبدل حرارتی هوا-زمین بیان کردند که استفاده از مبدل حرارتی هوا-زمین در کاهش دمای گلخانه تاثیر کمی دارد(Mahdavi et al).

علی‌رضا ترنگ و همکاران با مطالعه بر روی کاربرد و اهمیت انواع سیستم‌های حرارتی و برودتی در گلخانه در سال ۱۳۹۱ دریافتند که برای تابستان سیستم‌های خنک کننده تبخیری(پد و فن/مه) مناسب هستند، که در این بین برای اجرای سیستم پد و فن باید بر مواردی از قبیل (۱-راندمان پد، ۲-

مواد و ضخامت پد، ۳-مساحت پد و فاصله تا پنکه ، ۴-موقعیت پد، ۵-پنکه، ۶-عملیات سیستم پد و فن، ۷-سرعت جریان هوا، ۸-سرعت جریان آب) تاکید داشت(Tarang et al. 2012).

Alejandro lopez et al با ارزیابی خصوصیات توزیع دما و جریان هوا در گلخانه‌های مجاور دریای مدیترانه با سیستم‌های پد-فن و سیستم مه به این نتیجه دست یافتند که بهترین مکان برای قرارگیری فن‌های سیرکوله در کنار مجرای جانبی می‌باشد تا تا بتوانیم بهترین میزان گردش هوا را شاهد باشیم، همچنین سیستم پد-فن در تمامی آزمایشات نسبت به سیستم مه و تهویه طبیعی بسیار مناسب‌تر است. دمای هوا در گلخانه خالی با سیستم پد-فن تا دمای ۱۱,۶ درجه سانتیگراد پایین تر از حد طبیعی هوا بود و تا دمای ۱۰,۴ درجه سانتیگراد پایین تر از سیستم مجهز به سیستم مه و ۹,۸ درجه سانتیگراد پایین تر از سیستم مجهز به سیستم تهویه ی طبیعی بود (Lopez, Valera, Molina-Aiz, & Pena, 2012).

کاتسولاس و همکاران در سال ۲۰۰۹ اثرات یک سیستم خنک کننده مه در شرایط محیطی گلخانه‌ای بر محصول بادمجان در فصل تابستان را مورد بررسی قرار دادند و در پایان به این نتیجه دست یافتند که سیستم خنک‌کننده مه موجب افزایش میانگین وزن میوه و درصد میوه قابل فروش است ، اما تعداد کل میوه در بوته را کاهش می‌دهد ولیکن از نظر اقتصادی بصرفه است و در آخر موجب افزایش سود خالص می‌شود . از طرفی اگر سیستم مه‌پاش دارای راندمان بالا باشد می‌تواند باعث کاهش مصرف آب شود (Katsoulas et al., 2009 Merkouris, & Kittas, 2009).

لی و همکاران در سال ۲۰۰۸ با مقایسه عملکرد کارایی خنک کننده و تبخیر دو سیستم مه‌پاش فشار کم (فشار کاری ۴۰۵ کیلو پاسکال) و فشار بالا (فشار ۶,۸۹ MPa) در دو گلخانه مشابه به این نتیجه رسیدند که سیستم فشار بالا منجر به راندمان تبخیر حداقل ۶۴٪ بالاتر از سیستم کم فشار شد، با این حال، بهره وری خنک کننده سیستم فشار بالا فقط ۲۸٪ بالاتر از سیستم کم فشار بود(Li & Willits, 2008).

ویارئال-گاررو و همکاران در سال ۲۰۱۲ با کنترل عملکرد شبیه‌سازی خنک‌کننده های گلخانه‌ای با تهویه طبیعی و مه به این نتیجه دست یافتند که بهترین عملکرد سیستم مه در حالت فشار پایدار است و با سیستم مه ۳۶٪ صرفه جویی در آب و ۳۰٪ صرفه جویی در انرژی خواهیم داشت(Villarreal-Guerrero et al.).

عبدالغنی و کوزای در سال ۲۰۰۶ با بررسی انواع چرخه‌های عملکرد دستگاه مه‌پاش در گلخانه به این نتیجه دست یافتند که بهترین عملکرد مه‌پاش در گلخانه‌ها با چرخه ۶۰ ثانیه روشن و ۱۸۰ ثانیه خاموش بدست می‌آید (Abdel-Ghany & Kozai, 2006).

V.P. Sethi et al با بررسی فناوری‌های خنک کننده برای برنامه‌های کاربردی گلخانه‌ای دریافتند که روش تهویه طبیعی دمای داخلی گلخانه را در محل نزدیک به فن تهویه به نسبت دمای بیرون کاهش می‌دهد و برای بهترین اثر خنک‌کنندگی باید سطح کل محل تهویه 15-30% از سطح کف باشد. میزان تهویه هوا در تهویه کمری با سرعت باد افزایش می‌یابد، در روزهای آفتابی بدون باد و شرایط گرمسیری مطلوب نیست. این روش فقط در دوره‌های بهار و پاییز سال و مناطقی با باد ضعیف مفید است. در خصوص استفاده از سایه دریافتند که دمای گیاه در زیر سایه به طور قابل توجهی (۶-۴ درجه سانتی‌گراد) کاهش می‌یابد. در مورد سیستم پد-فن نیز دریافتند که همانند سایه (۴-۶ درجه سانتی‌گراد) دمای گلخانه را کاهش می‌دهد ولی ترکیب این روش با سایه باعث کاهش ۴ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد از دمای محیط می‌گردد. در رابطه با سیستم‌های مه‌پاش نیز به این نتیجه رسیدند که این روش می‌تواند توزیع درجه حرارت یکنواخت تری نسبت به سیستم پد-فن فراهم کند و همچنین دمای محیط را ۸-۳ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهد، ولی این روش از هزینه بالایی برخوردار بوده و در فصل‌های بارانی بی‌اثر است. خنک کننده سقف و مبدل حرارتی زمین به هوا نیز دمای محیط را ۵-۳ درجه سانتی‌گراد کاهش می‌دهند، که در این بین ضرر عمده استفاده از EAHES هزینه بالای آن می‌باشد(Sethi & Sharma, 2007).

Amal herez و همکاران در سال ۲۰۱۷ با مطالعه پارامتریک در مورد استفاده از انرژی ژئوترمال برای خنک‌سازی دریاتند که در سیستم مبدل حرارتی زمین به هوا چگونگی انتقال حرارت با طول لوله‌ها دارای رابطه است. برای گرم کردن محیط گلخانه در زمستان باید لوله‌ها در عمق کمتری قرار بگیرند و برای خنک کردن در تابستان در عمق بیشتر(Herez et al., 2017).

p.zhou و همکاران در سال ۲۰۱۵ عملکرد خنک‌سازی یک گلخانه در منطقه نیمه گرمسیری مرطوب شانگهای را با سیستم پد مورد بررسی قرار دادند که نتایج بدست آمده عبارتند از (۱-در شرایط RH بالا هوا می‌تواند تا حدود ۲۹-۲۷ درجه سانتیگراد چس از جریان هوا جریان داده شود و توسط لوله‌های خنک کننده تبخیر شده و به رطوبت تبدیل شود. ۲-دما و رطوبت محیط گلخانه به سرعت به حلت‌های عملیاتی تغییر می‌کند. ۳-هوا داخل گلخانه با استفاده از پد خنک‌کننده تبخیری و سایه می‌تواند به ۳-۲ درجه پایین تر از دمای محیط با رطوبت نسبی ۸۰٪ برسد. ۴-هنگامی که سیستم خنک‌کننده تبخیری روشن می‌شود برای جلوگیری از اختلالات از جریان‌های غیر ضروری باید گلخانه کاملا بسته باشد (Xu, Li, Wang, Liu, & Zhou, 2015 Liu, & Zhou, 2015).

p. banik و همکاران در سال ۲۰۱۷ با تجزیه و تحلیل عملکرد اقتصادی یک گلخانه با پد تبخیری و خشک شدن خورشیدی دریافتندکه (۱-در اوج گرما تابستان سیستم مه می‌تواند دمای درون گلخانه را در حدود ۲۶ درجه سانتیگراد محدود کمد، در حالی که دمای محیط اطراف آن ۳۴,۲ درجه سانتیگراد است. ۲-با استفاده از خشک کن همراه با کولرهای تبخیری دمای گلخانه در طول عملیات یک ساله به عنوان ۲۶,۶ درجه سانتیگراد پیش‌بینی شده است، در حالی که سیستم تهویه معمولی به ۲۸,۸ درجه سانتیگراد می‌رسد(Banik & Ganguly, 2017).

۴- نتیجه‌گیری

هدف ما در این مقاله بررسی و مقایسه روش‌های مختلف خنک‌سازی است که با توجه به پژوهش‌های انجام شده تا به امروز نتیجه کلی به این صورت است که روش تهویه معمولی که ساده‌ترین روش است کمترین میزان بازدهی را برای خنک‌سازی دارد و فقط در فصل‌هایی که باد جریان دارد قابل کاربرد است. بیشترین بازدهی برای خنک‌سازی را در بین سیستم‌ها به صورت انفرادی سیستم‌های خنک‌کننده تبخیری(پد-فن / مه) دارند که به میزان ۸-۳ درجه سانتیگراد دمای درون گلخانه‌ها را نسبت به محیط بیرون آن ها کاهش می‌دهند. البته تمام سیستم‌های خنک کننده بسته به زمان و یا شرایط اقلیمی و جغرافیایی دارای محدودیت می‌باشند. برای مثال بیشترین بازدهی سیستم مه در اوج گرما تابستان و در مناطق گرمسیری می‌باشدو شاید برترین خنک‌کننده در آن بازه زمانی باشد.ولی در فصل‌های بارانی هیچ کاربردی نخواهد داشت. مزیت دیگر سیستم‌های تبخیری این است که علاوه بر خنک‌سازی باعث کاهش مصرف انرژی و نیرو می‌شوند. با توجه به پژوهش‌های انجام شده تا به امروز بهترین حالت عملکرد سیستم‌های خنک کننده در مجموع حالت ترکیب روش‌های سیستم تبخیری و سایه‌اندازی است.

اگر کسی قصد تهیه سیستم خنک‌کننده برای یک گلخانه را دارد باید با توجه به زمان و شرایط اقلیمی و جغرافیایی و محصول مورد نظر خود برای کاشت در گلخانه با علم به این که آن محصول چه میزان رطوبت و حرارت نیاز دارد، اقدام به تهیه یک سیستم خنک‌کننده برای گلخانه خود نماید.

۵- مراجع

Uncategorized References

Abdel-Ghany, A. M., & Kozai, T. (2006). Cooling Efficiency of Fogging Systems for Greenhouses. *Biosystems Engineering, 94*(1), 97-109. doi:https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2006.02.008

Banik, P., & Ganguly, A. (2017). Performance and economic analysis of a floricultural greenhouse with distributed fan-pad evaporative cooling coupled with solar desiccation. *Solar Energy, 147*, 439-447. doi:https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.03.057

M. (2017). Using Geothermal Energy for cooling - ,Herez, A., Khaled, M., Murr, R., Haddad, A., Elhage, H., & Ramadan Parametric study. *Energy Procedia, 119*, 783-791. doi:https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.111

Katsoulas, N., Savvas, D., Tsirogiannis, I., Merkouris, O., & Kittas, C. (2009). Response of an eggplant crop grown under .Mediterranean summer conditions to greenhouse fog cooling. *Scientia Horticulturae, 123*(1), 90-98

Kooli, S., Lazaar, M., Hazami, M., Farhat, A., & Belghith, A. (2009). *MODELING AND EXPERIMENTAL STUDIES FOR THERMAL PERFORMANCE OF A GROUND HEAT STORAGE SYSTEM INTEGRATED WITH A .GREENHOUSE*. Paper presented at the ICHMT DIGITAL LIBRARY ONLINE

Li, S., & Willits, D. H. (2008). Comparing low-pressure and high-pressure fogging systems in naturally ventilated doi:https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2008.06.004 .۷۷-٦۹ ,(۱)greenhouses. *Biosystems Engineering, 101*

Lopez, A., Valera, D. L., Molina-Aiz, F. D., & Pena, A. (2012). Sonic anemometry to evaluate airflow characteristics and temperature distribution in empty Mediterranean greenhouses equipped with pad–fan and fog systems. *biosystems .engineering, 113*(4), 334-350

Sethi, V. P., & Sharma, S. K. (2007). Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. j.solener.2007.03.004/٦*Solar Energy, 81*(12), 1447-1459. doi:https://doi.org/10.101

Villarreal-Guerrero, F., Kacira, M., Fitz-Rodríguez, E., Linker, R., Kubota, C., Giacomelli, G. A., & Arbel, A. (2012). Simulated performance of a greenhouse cooling control strategy with natural ventilation and fog cooling. *biosystems .engineering, 111*(2), 217-228

Xu, J., Li, Y., Wang, R., Liu, W., & Zhou, P. (2015). Experimental performance of evaporative cooling pad systems in .greenhouses in humid subtropical climates. *Applied Energy, 138*, 291-301

A.Fakhar, & a. Danesh keysami. Designing a Solar Cooling System for Greenhouse Cultivation in Highly Climatic Areas (persian)

S.mahdavi, & F.sarhaddi, & m.hedayatizadeh. Investigating the Performance of a Solar Greenhouse Connected to Photovoltaic / Thermal Collectors and Geotermal (persian)

A.tarang, & A.khorrami raad, & S.bohloli zanjani, & M.maghsoudi, & A.r.sayad. (2012). Application and Importance of Types of Thermal and Cryogenic Systems in the Greenhouse (persian)

Mh.Shojaei, & H.Mortezapoor. Check greenhouse cooling systems (persian)

V.Rezaei, & V.fadakar, & S.malek. (2012). Evaporative cooling pads in greenhouses (persian)