

ارزیابی کارایی سیستم سرمایش فن و پد گلخانه‌ای در منطقه محلات

صادق صادقی^۱، قاسم زارعی^{۲*} و سید نجم الدین مرتضوی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱/۳۰)

چکیده

در تولید رز شاخه بریده به‌عنوان یکی از محصولات پرطرفدار و پرمنفعت در صنعت تولید گل و گیاهان زینتی، بهینه‌سازی شرایط محیطی رشد، به‌ویژه دمای محیط، در تمام فصل‌های سال بسیار مهم است. بنابراین، پژوهش حاضر با هدف بررسی کارایی سیستم خنک‌کننده فن و پد در گلخانه‌های رز شاخه بریده در مناطق خشک و نیمه خشک کشور، در یک گلخانه تحقیقاتی با سازه رایج تونلی - پلاستیکی اجرا شد. فاکتورهای اصلی مؤثر در کارایی سیستم سرمایشی گلخانه شامل تابش خورشیدی، نور دریافتی و دمای خشک و تر بیرون و داخل گلخانه در فاصله ساعات ۹ صبح تا ۶ بعد از ظهر در ده روز از گرم‌ترین روزهای تابستان ۱۳۸۸ اندازه‌گیری شدند. گرم‌ترین روز در بین این ده روز به‌عنوان شاخص ارزیابی انتخاب گردید و براساس نتایج و توصیه‌های تحقیقات مشابه قبلی، کارایی سیستم سرمایشی مذکور در نقاط مختلف گلخانه و در ساعات مختلف تعیین شد و کارایی سرمایش در گرم‌ترین ساعت روز به‌عنوان پتانسیل نهایی سیستم منظور گردید. براساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، کارایی سیستم سرمایش فن و پد گلخانه‌ای در شرایط منطقه محلات بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد بسته به محل (فاصله از پد) و شرایط اقلیمی ساعت داده‌برداری (تابش دریافتی خورشیدی داخل گلخانه، دما و رطوبت نسبی هوا) تغییر می‌کند. هم‌چنین، کارایی سرمایش در گرم‌ترین ساعت از گرم‌ترین روز سال، در محل ورود هوا از پد، در حدود ۷۵٪ برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: گلخانه، رز شاخه بریده، دمای محیط، سیستم خنک‌کننده تبخیری

مقدمه

از سوی دیگر، شرایط خشک و بیابانی حاکم بر بسیاری از کشورها از جمله ایران، مدیریت کنترل شرایط محیطی گلخانه‌ها را با چالش‌های زیادی روبرو می‌سازد. تولید پایدار و دائمی محصول در گلخانه‌های احداث شده در این مناطق نیازمند امکانات و سیستم‌هایی است که بتوانند گلخانه را در زمستان گرم و در تابستان خنک نگه دارند. متأسفانه، خنک نگه‌داشتن گلخانه در خلال ماه‌های گرم، سخت‌تر از گرم کردن آن در زمستان است؛ اگرچه ممکن است این کار هزینه کمتری در بر داشته باشد (۱). تابش خورشید در برخی از مناطق ایران

در سال‌های اخیر، تمایل زیادی در بین تولیدکنندگان بخش کشاورزی به احداث گلخانه و تولید و پرورش محصولات گلخانه‌ای به‌وجود آمده است. دلایل اصلی گرایش به تولید محصولات گلخانه‌ای عبارتند از: امکان کنترل عوامل محیطی و انرژی ورودی چه به‌صورت مستقیم (تهویه) و چه به‌صورت غیرمستقیم (پوشش گلخانه، کودها و سموم)، امکان دستیابی به تولید بیشینه محصول و کاهش هزینه به ازای واحد تولید.

۱. بخش تحقیقات فنی و مهندسی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی

۲. بخش تحقیقات مهندسی گلخانه مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

۳. گروه باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ghzareei4554@yahoo.com

و پد، بهتر از سیستم مه‌پاش و آب‌پاشی سقفی بوده و قابلیت پایدار کردن دمای مطلوب در گلخانه را داراست. به‌نقل از سستی (۲۲)، واکر و کوتر سیستم‌های سرمایشی مختلفی را مطالعه کرده و اظهار داشته‌اند که یک سیستم مه‌پاشی با ذرات آب ریز در حد ۴۰ تا ۵۰ میکرون، توانایی ایجاد حداکثر سرمایش را در گلخانه داراست. پس از این سیستم، سیستم سرمایشی فن و پد قرار دارد. در مطالعات حسین اوزترک و کارا (۱۴) در ترکیه، کارایی سیستم سرمایشی مه‌پاش برای گلخانه حدود ۸۰٪ به‌دست آمد. در مطالعات حسین اوزترک (۱۵)، کارایی سیستم سرمایش فن و پد برای گلخانه شیشه‌ای از نوع ونلو تعیین شد. در این مطالعه، کارایی سیستم از ۳۴٪ در ساعت ۸ صبح تا ۷۶٪ در ساعت ۱۴ ثبت شد که بنا بر تغییرات دما و رطوبت نسبی هوا در داخل و خارج گلخانه، تحلیل گردید. گیاکوملی (۱۳) کارایی سرمایش سیستم فن و پد گلخانه‌ای را بررسی کرده و آن را بین ۴۰ تا ۷۰ درصد گزارش کرد. در مطالعات دیگری، آریل و همکاران (۶) در مقایسه سیستم سرمایش فن و پد و مه‌پاش اعلام کرده‌اند که کارایی سیستم فن و پد بیشتر و حدود ۷۵٪ بوده است. به‌نقل از سستی (۲۲)، البرایت با بررسی عملکرد سیستم فن و پد، کارایی ۸۰٪ را برای این سیستم سرمایشی ثبت کرده است. کیتاس و همکاران (۱۸) در مطالعات خود پیرامون سیستم سرمایش تبخیری گلخانه، کارایی سیستم فن و پد را بین ۳۴ تا ۷۰ درصد و میانگین آن را ۶۰٪ گزارش کردند. بیلی (۷) کارایی سیستم سرمایشی فن و پد را حدود ۸۵٪ به‌دست آورد. به‌نقل از سستی (۲۲)، برخی از محققین سیستم سرمایش تبخیری را برای چهار منطقه واقع در کشورهای عربی حاشیه خلیج فارس بررسی و کارایی‌های ۸۱، ۷۵، ۷۳ و ۶۱ درصد را برای آنها به‌دست آوردند. به‌نقل از سستی (۲۲)، برخی دیگر از محققین نیز در مطالعات خود درباره مواد قابل استفاده به‌عنوان پد، کارایی سیستم سرمایشی را با پد سلولزی، ۷۹٪ به‌دست آوردند. الهلال و ال‌ابراهیم (۴)، در پژوهشی با هدف بررسی کارایی سیستم سرمایشی فن و پد در عربستان، کارایی سیستم را تحت شرایط دمایی ۴۰ تا ۴۷ درجه سلسیوس و رطوبت نسبی ۸ تا ۱۲ درصد (تقریباً مشابه با شرایط

گاه از مرز ۵۰۰ کالری بر سانتی‌مترمربع در روز نیز می‌گذرد (۲). در صورتی که تابش مورد نیاز جهت انجام فعالیت‌های شیمیایی و فتوسنتزی گیاه کمتر از ۱٪ این مقدار است (۲۱). باقیمانده انرژی تابشی در داخل گلخانه صرف تبخیر و تعرق و گرم کردن محیط می‌گردد. در چنین شرایطی، استفاده از سیستم‌های سرمایشی به‌منظور جلوگیری از افزایش دمای محسوس گلخانه، اجتناب‌ناپذیر است. در خلال دوره رشد بلندمدت برخی از محصولات گلخانه‌ای، سطوح بالای تابش، به‌ویژه در ماه‌های گرم سال، مشکلاتی از جمله تبخیر و تعرق فزاینده، کاهش کیفیت و کمیت محصول به‌دلیل افزایش تنفس گیاه، افزایش خسارت شوری آب به‌جهت تبخیر زیاد و ریزش گل گیاهان تحت کشت را به‌دنبال دارد (۱۰).

از جمله محصولات گلخانه‌ای بسیار مهم در ایران، گل رز شاخه‌بریده است. یکی از مهم‌ترین نکات در پرورش گل رز گلخانه‌ای، تأمین دمای بهینه در فصل‌های گرم است که به نحو قابل توجهی در افزایش عملکرد کمی و کیفی این گل نقش دارد (۱۱). در مطالعات متعددی آثار منفی ناشی از افزایش دمای محیط گلخانه بر رشد و عملکرد گیاهان مختلف از جمله گل رز گزارش شده است (۱۱). در بیشتر این مطالعات، کاهش فعالیت فتوسنتزی ناشی از دمای زیاد نیز مشاهده شده است (۱۱). محققین معتقدند که رطوبت نسبی، نور و غلظت CO_2 نیز بر پاسخ گیاه به دما تأثیر داشته و می‌توان آنها را در شرایط گلخانه کنترل کرد (۸). به‌عنوان مثال، گزارش شده که دمای بهینه در غلظت بالاتر CO_2 ، بیشتر است (۱۷). بدیهی است که با محاسبه کاهش عملکرد محصول ناشی از افزایش دمای گلخانه، می‌توان نقطه سر به سری سرمایه‌گذاری جهت تعبیه سیستم سرمایش را تخمین زد.

محاسبه کارایی سیستم سرمایش گلخانه و بررسی روش‌های مختلف آن به‌عنوان پایه‌ای برای پژوهش‌های بعدی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در همین راستا، مونترو (۱۹) سه سیستم سرمایشی را مطالعه کرده و کارایی آنها را با اندازه‌گیری دمای گلخانه و برگ گیاه بررسی کرد. او دریافت که سیستم فن

دمای خشک و تر و دمای نسبی.

لازم به ذکر است که به دلیل عدم وجود مطالعات مشابه در داخل کشور، این تحقیق به عنوان اولین مطالعه در زمینه ارزیابی کارایی سیستم فن و پد در گلخانه‌ها می‌تواند راه‌گشای محققین در جهت اجرای پروژه‌های بعدی باشد.

مواد و روش‌ها

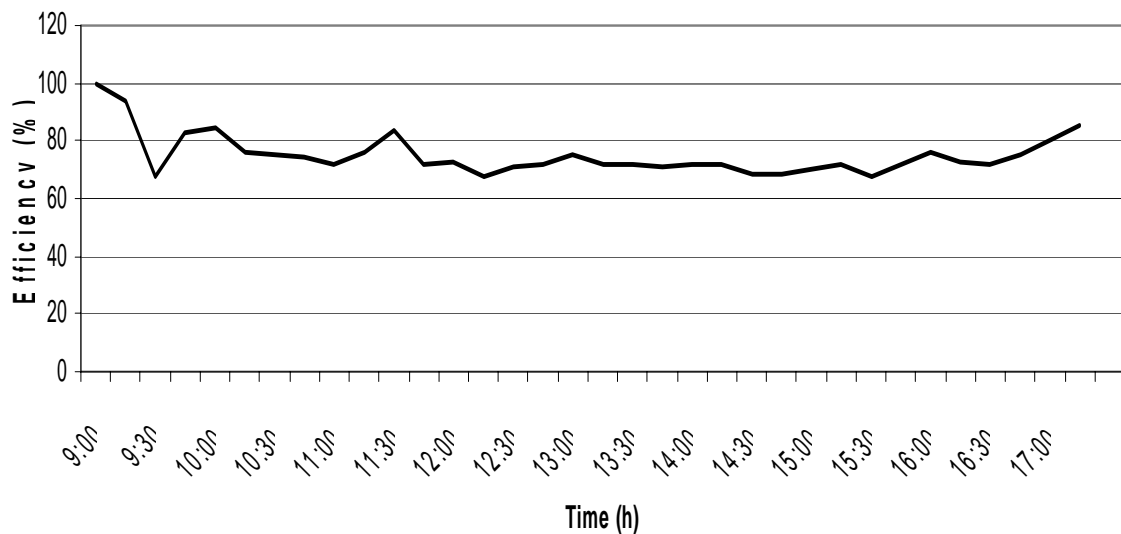
در این پژوهش، یک گلخانه با موقعیت ساخته شده شمالی-جنوبی به طول ۳۰ متر، عرض دهانه ۱۰ متر و ارتفاع ۳/۵ متر از زیر ناودانی، از نوع تونل پلاستیکی و با سازه فولادی، دارای پوشش پلی اتیلن شفاف به ضخامت ۱۸۰ میکرون و دارای ۵٪ ماده ضد UV و مقدار سایه‌انداز ۴۰٪، مجهز به سیستم سرمایش تبخیری، شامل ۲۰ مترمربع پد سلولزی با ابعاد ۱×۲/۱×۱۰ متر و دو دستگاه هواکش هر یک به ظرفیت ۳۵ هزار مترمکعب بر ساعت استفاده شدند. به منظور داده‌برداری از شرایط محیطی گلخانه و ثبت فاکتورهای اقلیمی تأثیرگذار بر دمای گلخانه، از امکانات زیر بهره‌گیری شد:

۱. سولاریمتر از نوع Kipp & Zonen که براساس نتایج مطالعات قبلی (۱۷)، در مرکز گلخانه و در ارتفاع ۲ متری از سطح زمین به صورت تراز نصب گردید.
۲. سایکرومترهایی از نوع Thermo Conider جیوه‌ای که در ۵ نقطه براساس نتایج مطالعات قبلی (۱۷)، روی پد سرمایشی، دو متری پد، وسط گلخانه، دو متری هواکش و روی هواکش نصب شدند. ارتفاع نصب این سایکرومترها ۱/۵ متر از سطح زمین و در محدوده سایه‌انداز گیاه بود.
۳. نورسنج (لوکس‌متر) از نوع قابل حمل Testo 545 جهت اندازه‌گیری مقدار روشنایی داخل گلخانه در زمان‌های مختلف، که هم‌سطح با سولاریمتر نصب گردیده بود.
۴. بادسنج (آنمومتر) با محدوده اندازه‌گیری سرعت باد ۰/۲-۳۰ متر بر ثانیه از نوع Digicon DA-43 جهت تعیین سرعت حرکت هوا در فاصله پد تا هواکش‌ها که در چند مرحله و به صورت متحرک استفاده شد.

تحقیق حاضر)، ۷۱٪ به‌دست آوردند. به‌نقل از ستی (۲۲)، برخی از محققین کارایی سیستم فن و پد را بین ۶۶ تا ۸۰ درصد براساس ضخامت پد، سرعت تهویه هوا و طرح پد به‌دست آوردند. به‌نقل از ستی (۲۲)، برخی از محققین با بررسی عملکرد سیستم سرمایشی فن و پد از تاریخ ۱۸ ژوئیه ۲۰۰۶ تا ۳ اوت ۲۰۰۶، کارایی سیستم را بین ۳۱/۸ تا ۸۲ درصد به‌دست آورد. کیتاس و همکاران (۱۷) با بررسی وضعیت دما و رطوبت گلخانه رز شاخه بریده، کارایی سیستم سرمایش را ۸۰٪ برآورد کردند. به‌نقل از ستی (۲۲)، الامیر اظهار داشت که پوشش فایبرگلاس در گلخانه به‌دلیل نورگذری کمتر این پوشش نسبت به شیشه و پلی اتیلن، کارایی سیستم سرمایش را ۲۴٪ افزایش داد. الهلال (۵) در پژوهشی با هدف مطالعه کارایی سیستم فن و پد در سه اقلیم متفاوت مرطوب، خشک و معتدل کشور عربستان سعودی، کارایی سیستم را به ترتیب ۶۳، ۷۷ و ۶۵ درصد برای این مناطق به‌دست آورد. الشوشان (۳) در مقایسه سیستم‌های سرمایش مختلف گلخانه در مناطق خشک، کارایی سرمایشی سیستم فن و پد را ۵۰ تا ۷۵ درصد به‌دست آورد.

آگاهی از نحوه سرمایش، کارایی و عملکرد سیستم سرمایشی گلخانه‌ها، ضمن فراهم کردن امکان اعمال مدیریت بهتر و کاستن از هزینه‌های تولید، می‌تواند به‌عنوان پایه‌ای برای مطالعات بعدی در خصوص آثار سرمایش بر کیفیت، کمیت و رشد محصولات گلخانه‌ای استفاده گردد. کاربرد یک سیستم سرمایش مناسب موجب کاهش تبخیر و تعرق و به‌ویژه کاهش خسارت شوری (مشکل رایج در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران) روی محصول خواهد شد. بر همین اساس، پژوهش حاضر با اهداف زیر اجرا شد:

۱. محاسبه کارایی سیستم سرمایش فن و پد در منطقه محلات جهت دستیابی به اطلاعات پایه برای انجام پروژه‌های بعدی مثل مقایسه سیستم‌های سرمایش تبخیری و برآوردهای اقتصادی سیستم‌های سرمایش گلخانه‌ای.
۲. بررسی همبستگی فاکتورهای محیطی داخل و خارج گلخانه با سیستم سرمایش فن و پد نظیر تابش خورشید،



شکل ۱. تغییرات کارایی سرمایه‌ش سیستم در قسمت پد در ساعات مختلف روز

داده‌های سایکرومترها و استفاده از نرم‌افزار Excel و بررسی نمودار سایکرومتریک، به‌وسیله رایانه محاسبه شد. در مرحله پایانی نیز کارایی سیستم سرمایه‌ش مورد نظر در تمام نقاطی که داده‌برداری از آنها صورت‌گرفته بود، براساس فرمول زیر محاسبه شد (۶، ۹، ۱۶ و ۱۷):

$$\eta_c = \left(\frac{T_{db,o} - T_{db,c}}{T_{db,o} - T_{wb,o}} \right) \times 100 \quad [1]$$

در این فرمول η_c کارایی سیستم سرمایه‌ش (%)، $T_{db,o}$ دمای حباب خشک بیرون (°C)، $T_{db,c}$ دمای حباب خشک پد (°C) و $T_{wb,o}$ دمای حباب تر بیرون (°C) هستند.

بررسی همبستگی داده‌ها و فاکتورهای مؤثر در کارایی سرمایه‌ش، تحلیل آنها و رسم نمودارها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel، Minitab و SPSS انجام شد.

نتایج و بحث

تغییرات کارایی سرمایه‌ش در محل پد

به کمک داده‌های اندازه‌گیری شده در طول زمان آزمایش و با استفاده از رابطه ۱، کارایی سیستم سرمایه‌ش در محل پد (هوای ورودی به گلخانه در کنار پد) محاسبه و تغییرات آن در طول ساعات روز در شکل ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در

پس از آماده‌سازی گلخانه، نصب دستگاه‌ها و تجهیزات مذکور و آزمایش صحت کار آنها، گرم‌ترین روزهای تیرماه سال ۱۳۸۸ براساس داده‌های قبلی ایستگاه هواشناسی منطقه (آمار ۵ سال قبل) در فاصله روزهای ۱۹ تا ۲۹ تیرماه جهت انجام یادداشت‌برداری انتخاب شدند. طی این ۱۰ روز، داده‌ها شامل تابش دریافتی خورشید، دمای حباب خشک، دمای حباب تر و شدت نور در گلخانه هر ۱۵ دقیقه یک‌بار در طول ساعات ۹ تا ۱۷:۳۰ به‌صورت دستی یادداشت گردیدند. حسگر فرمان برای شروع کار سیستم فن و پد روی ۲۸ درجه سلسیوس تنظیم شده بود و بر همین اساس، سیستم روشن و خاموش می‌شد.

اطلاعات هواشناسی مورد نیاز از بیرون گلخانه در روزها از ایستگاه هواشناسی خودکار مجاور محل تحقیق مربوط به اداره هواشناسی شهرستان محلات، دریافت شد. ایستگاه هواشناسی مورد نظر در فاصله ۲۰ متری گلخانه آزمایشی قرار داشت. داده‌برداری فاکتورهای اقلیمی (مطابق با استاندارد ایستگاه‌های سینوپتیک) هر دقیقه به‌صورت خودکار انجام و در رایانه مرکزی ذخیره شد. داده‌های هواشناسی براساس زمان‌های یادداشت‌برداری در داخل گلخانه مرتب شدند. سپس گرم‌ترین روز در بین این ده روز به‌عنوان پایه محاسبات در نظر گرفته شد. آنگاه رطوبت نسبی داخل و خارج گلخانه براساس

که کارایی‌های ۳۱/۸ تا ۸۵ درصد را برای این نوع سیستم سرمایشی اندازه‌گیری و گزارش کرده‌اند، نشانگر هم‌خوانی نتیجه تحقیق حاضر با نتایج سایر محققین است (۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۳، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۲۲). البته از آنجا که سطح برگ گیاهان طی زمان نمونه‌برداری در گلخانه مورد آزمایش در حدود رایج در گلخانه‌های تجاری نبود، انتظار می‌رود کارایی این سیستم در گلخانه‌های تجاری بیش از این مقدار (حدود ۴۵ تا ۸۰ درصد) باشد. زیرا تبخیر و تعرق حاصل از گیاه به نحو قابل توجهی در بالا بردن رطوبت محیط و کارایی سرمایش گلخانه مؤثر است.

تغییرات کارایی سرمایش پد و فن

بر اساس فرمول محاسبه کارایی سیستم سرمایش تبخیری فن و پد (رابطه ۱)، یکی از فاکتورهای مؤثر در تغییرات کارایی سیستم، دمای تر (WBT) بیرون گلخانه است. چگونگی رفتار این فاکتور در برابر کارایی سرمایشی سیستم تحلیل و در شکل ۳ نشان داده شده است. با افزایش دمای تر محیط بیرون گلخانه، کارایی سیستم سرمایشی کاهش یافته است. به‌طور کلی و از نظر تئوری، کمینه دمایی (بیشینه سرمایی) که یک سیستم سرمایش تبخیری می‌تواند به آن دست یابد، نزدیک به دمای تر محیط است.

تغییرات کارایی سرمایش با اختلاف دما و رطوبت نسبی

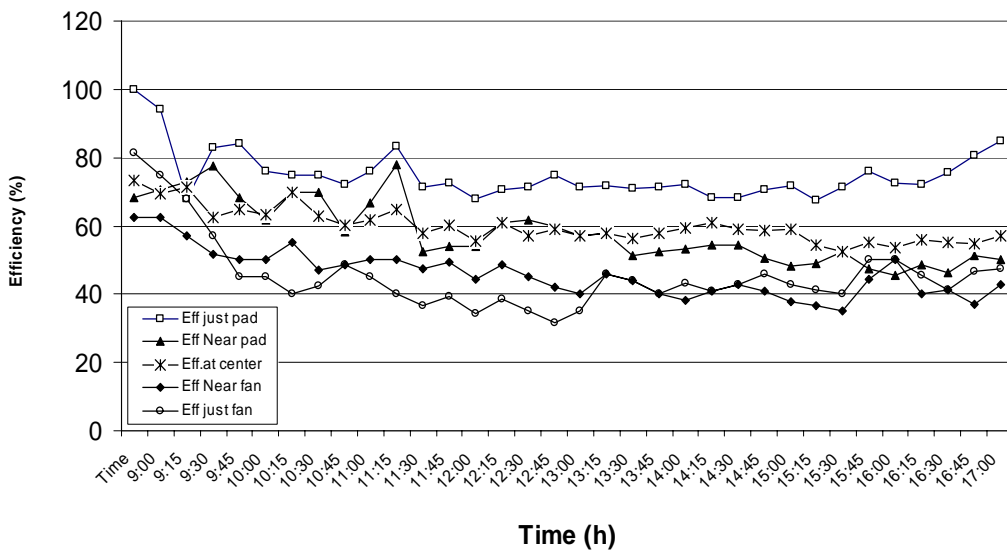
تغییر در کارایی سرمایش سیستم پد و فن در اثر تغییرات اختلاف دمای داخل با محیط بیرون گلخانه، در شکل ۴ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، کاهش راندمان سیستم سرمایش موجب افزایش اختلاف دمای داخل گلخانه با محیط بیرون گردیده است. هم‌چنان که مشخص است، دمای داخل گلخانه بر اثر کارکرد سیستم سرمایشی بین ۱۱ تا ۱۴ درجه سلسیوس کمتر از دمای بیرون گلخانه بوده است. به‌طور کلی می‌توان گفت که Δt و یا اختلاف دمای داخل و بیرون گلخانه، کاملاً مرتبط با رطوبت نسبی محیط بیرون از گلخانه بوده و در واقع تابع آن است. بنابراین، هر چه رطوبت نسبی منطقه کمتر باشد، Δt بیشتر خواهد بود. از طرف دیگر،

این شکل مشاهده می‌گردد، بیشترین کارایی در ساعت ۹ صبح با حدود ۱۰۰٪ و کمترین مقدار آن در ساعت ۱۵:۳۰ با حدود ۶۷٪ به‌دست آمده است. براساس مطالعات فوشس و همکاران (۱۱)، بهترین زمان برای سنجش کارایی سیستم سرمایش هنگامی است که دمای محیط بیرون در بالاترین حد (گرم‌ترین ساعت روز) قرار داشته باشد. بنابراین، در مطالعه حاضر، کارایی سیستم در ساعت ۱۴:۴۵ به‌عنوان بیشینه کارایی قابل دستیابی بوده و حدود ۶۸٪ به‌دست آمده است.

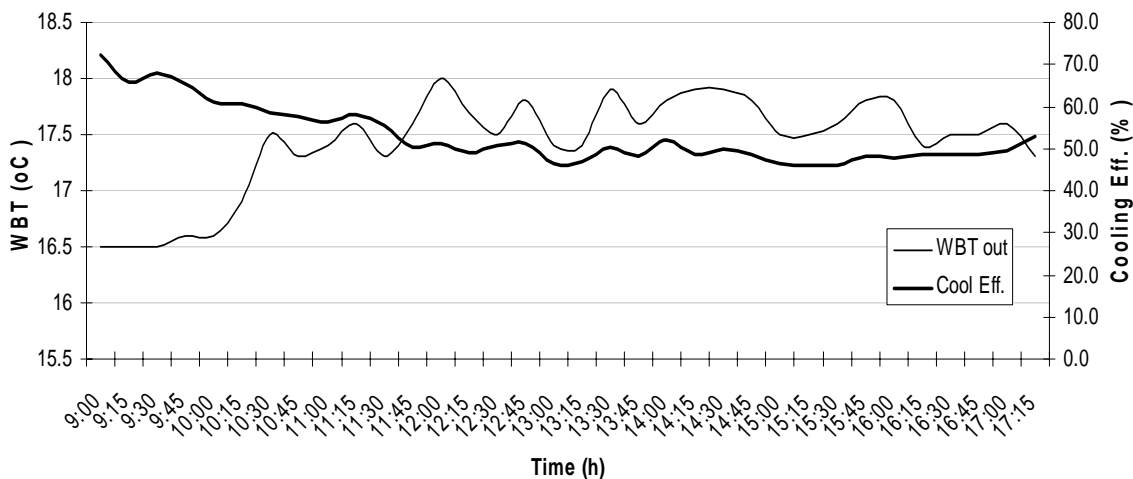
تغییرات کارایی سرمایش پد و فن در نقاط مختلف گلخانه

کارایی سیستم فن و پد در تمام نقاط داده‌برداری (۵ نقطه) محاسبه و تغییرات آن در طول ساعات روز در شکل ۲ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، بیشترین کارایی مربوط به داده‌های حاصل از پد است که از ۱۰۰٪ آغاز شده و به‌طور میانگین در سطح ۷۰ تا ۷۵ درصد متغیر بوده است. این روند در سایر نقاط به‌صورت کاهشی ادامه یافته و کمترین مقدار مربوط به داده‌های هواکش (فن) است. این بدین معنی است که هوای خارج شده از گلخانه، گرم‌ترین حد اندازه‌گیری شده در گلخانه بوده است. نکته قابل توجه در این شکل، بیشتر بودن کارایی سرمایش در میانه گلخانه نسبت به نقطه اندازه‌گیری شده در نزدیک به پد است. در واقع کارایی سیستم سرمایشی در نزدیکی پد باید بیشتر از میانه گلخانه باشد. اما چون سطح برگ و به بیان دیگر سطح تبخیرکننده (افزاینده رطوبت) در میانه گلخانه بیشتر از پیرامون پد بوده است، بنابراین کارایی سرمایش نیز به نحو قابل توجهی در این قسمت بالاتر بوده است.

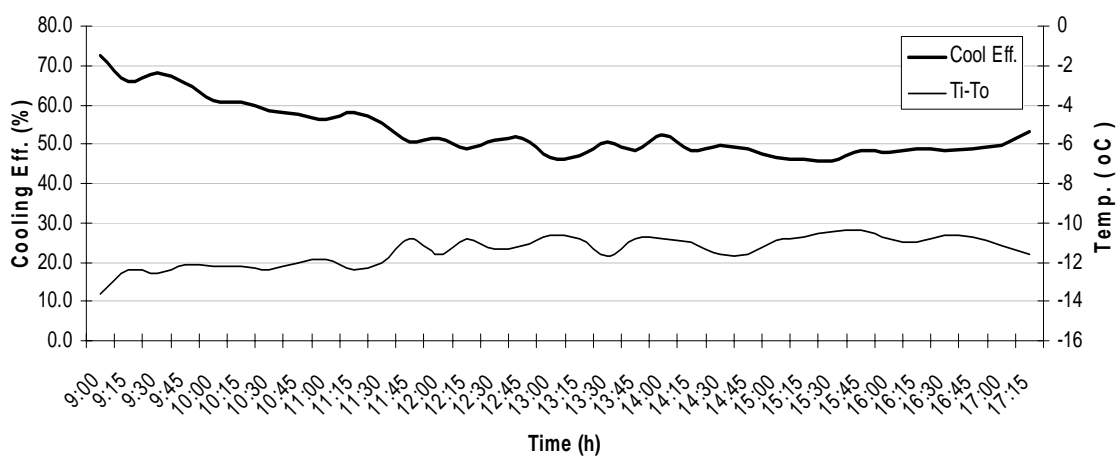
بر اساس نتایج به‌دست آمده در این پژوهش، کارایی سیستم سرمایشی فن و پد در شرایط منطقه محلات بین ۴۰ تا ۷۵ درصد، بسته به محل سنجش داده‌ها (فاصله از پد) و گرم‌ترین ساعت روز است. مقایسه نتایج به‌دست آمده از این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیقات متعدد انجام شده دیگر در این زمینه



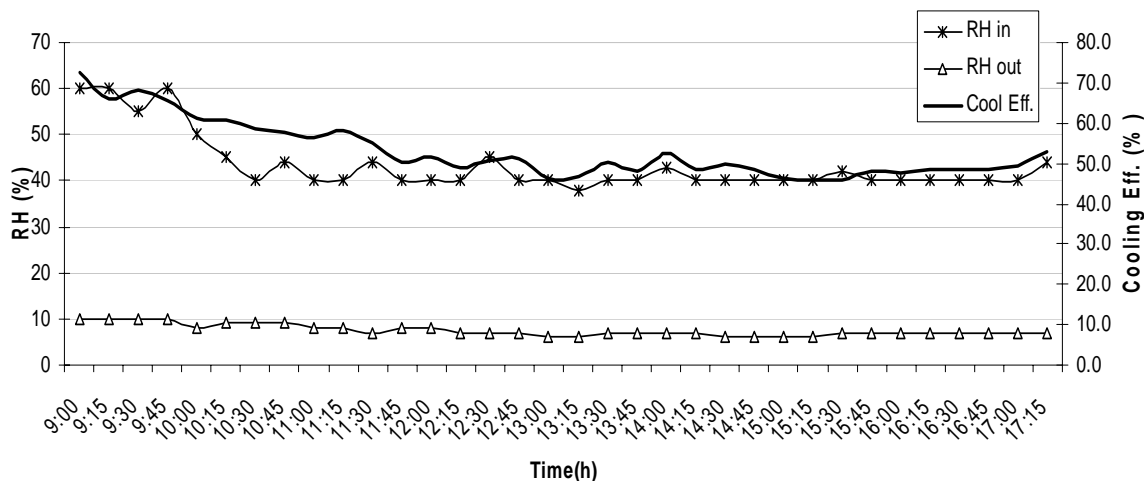
شکل ۲. مقایسه کارایی سیستم سرمایش پد و فن در نقاط مختلف گلخانه در طول ساعات روز



شکل ۳. تغییرات کارایی سرمایش پد و فن براساس دمای تر محیط بیرون گلخانه



شکل ۴. تغییرات کارایی سرمایش با اختلاف دمای داخل و بیرون گلخانه



شکل ۵. تغییرات کارایی سیستم سرمایش براساس رطوبت نسبی داخل و بیرون گلخانه

تغییرات تابش بیرون و داخل گلخانه و نور دریافتی گلخانه

تغییرات تابش دریافتی در سطح زمین، در داخل گلخانه و تغییرات نور دریافتی در داخل گلخانه به تابعیت از تابش دریافتی گلخانه، در شکل ۷ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که گلخانه مورد مطالعه با سایه‌انداز پوشانده شده بود. از این شکل مشاهده می‌شود که اولاً تابش دریافتی در داخل گلخانه تابعی از تابش دریافتی در سطح زمین است. ثانیاً نور دریافتی داخل گلخانه کاملاً تابع تابش دریافتی در سطح گلخانه است و ثالثاً تشعشع و نور وارد شده به داخل گلخانه در ظهر بیشتر از صبح و عصر بوده است. در شکل ۷ افت و خیزهایی در تشعشع و نور دریافتی گلخانه مشاهده می‌گردد. این تغییرات ناشی از تغییر موقعیت مکانی خورشید و جابجایی سایه حاصل از اجزای سازه گلخانه مثل لوله‌های کمان‌ها و اتصالات است که لحظاتی روی دستگاه اندازه‌گیری قرار گرفته و مجدداً برطرف شده‌اند.

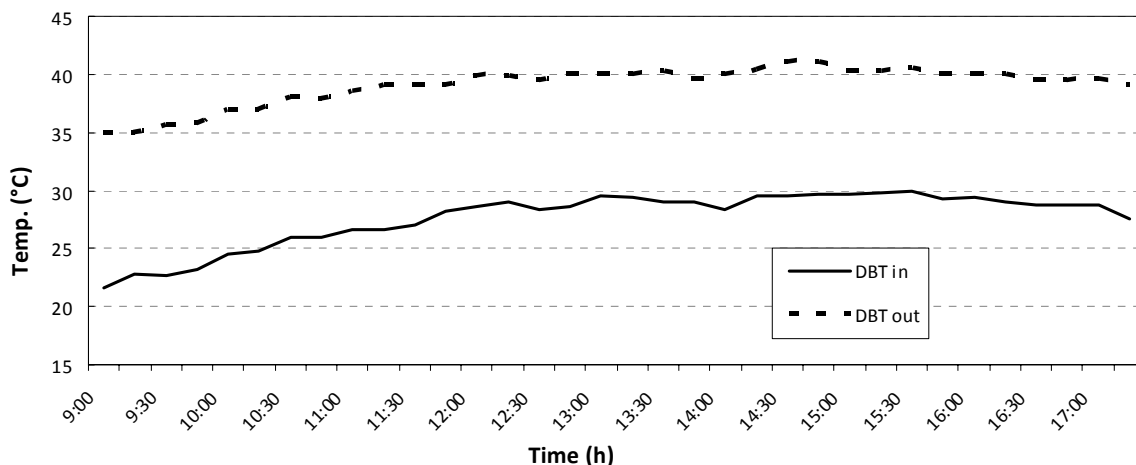
دمای خشک و تر داخل و بیرون گلخانه

تأثیر تابش دریافتی بر دمای تر و خشک داخل و بیرون گلخانه جهت مقایسه و بررسی رفتار متقابل آنها در شکل ۸ ارائه شده است. تفاوت دمای تر و خشک بیرون از گلخانه نسبتاً زیاد

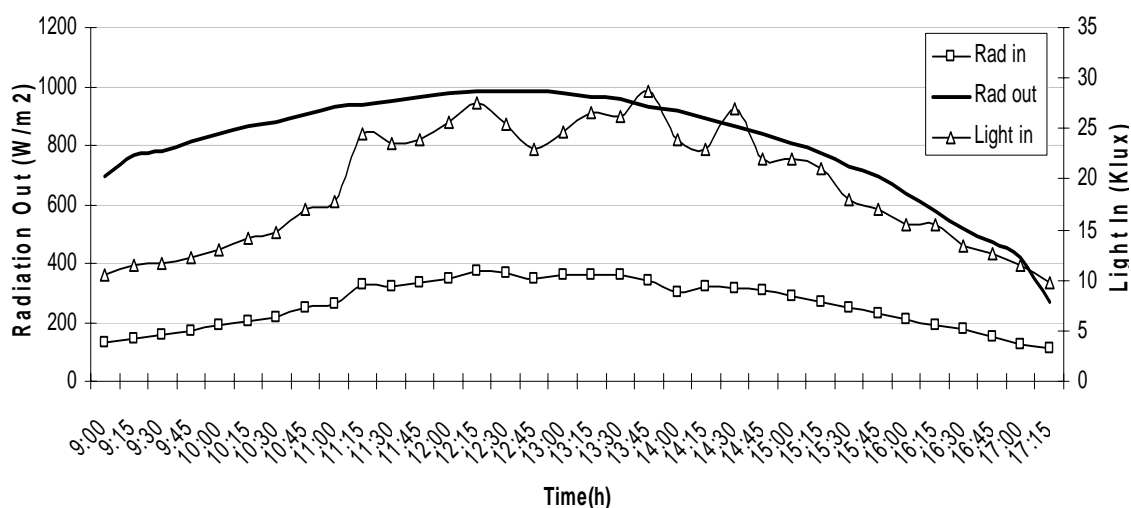
راندان سیستم سرمایش پد و فن کاملاً تابع رطوبت نسبی محیط بیرون گلخانه است. در واقع هرچه رطوبت نسبی محیط خارج از گلخانه کمتر باشد، راندان سرمایش بیشتر خواهد شد. این رفتار در شکل ۵ نشان داده شده است. به همین دلیل است که در مناطق با رطوبت نسبی زیاد، مانند شمال کشور، امکان بهره‌گیری از سیستم سرمایش تبخیری وجود ندارد.

تغییرات دمای حباب خشک بیرون و داخل گلخانه

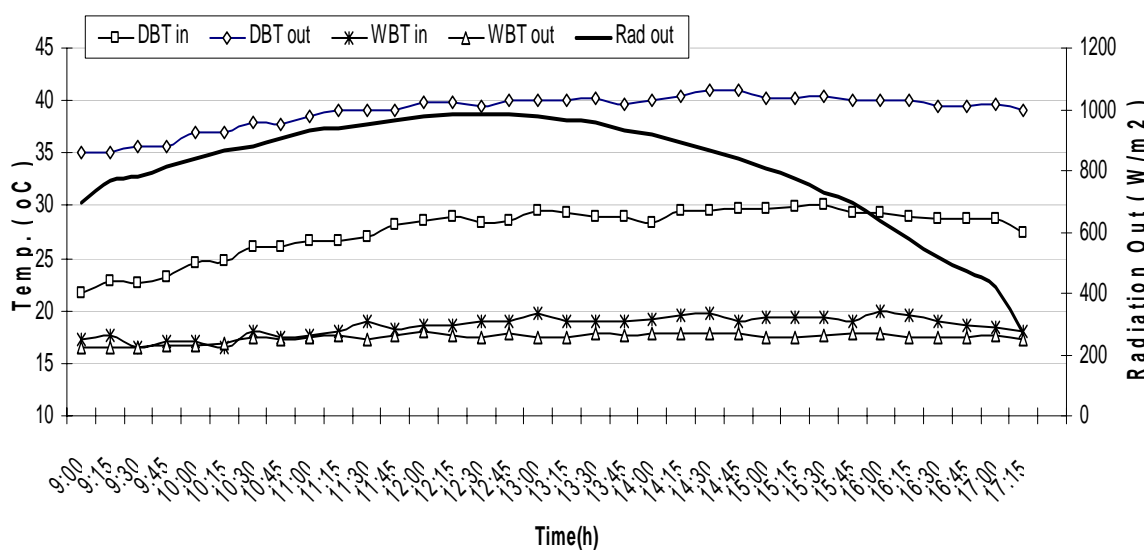
تغییرات دمای حباب خشک بیرون از گلخانه براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی محل آزمایش استخراج و در شکل ۶ ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، دما در گرم‌ترین ساعت روز، به حدود ۴۱ درجه سلسیوس رسیده است. هم‌چنین، در این شکل، دمای حباب خشک داخل گلخانه به‌صورت میانگین داده‌ها برای چهار نقطه شامل بلافاصله بعد از پد، نزدیک پد، نزدیک فن و در کنار فن ارائه شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در گرم‌ترین ساعت روز، دمای گلخانه تا ۳۰ درجه سلسیوس افزایش یافته است. از مقایسه این دو روند تغییرات در شکل ۶، می‌توان به مقدار خنک‌شدگی هوای داخل گلخانه بر اثر کارکرد سیستم سرمایشی فن- پد پی‌برد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، هوای داخل گلخانه حداکثر به ۲۲ درجه سلسیوس کاهش یافته است.



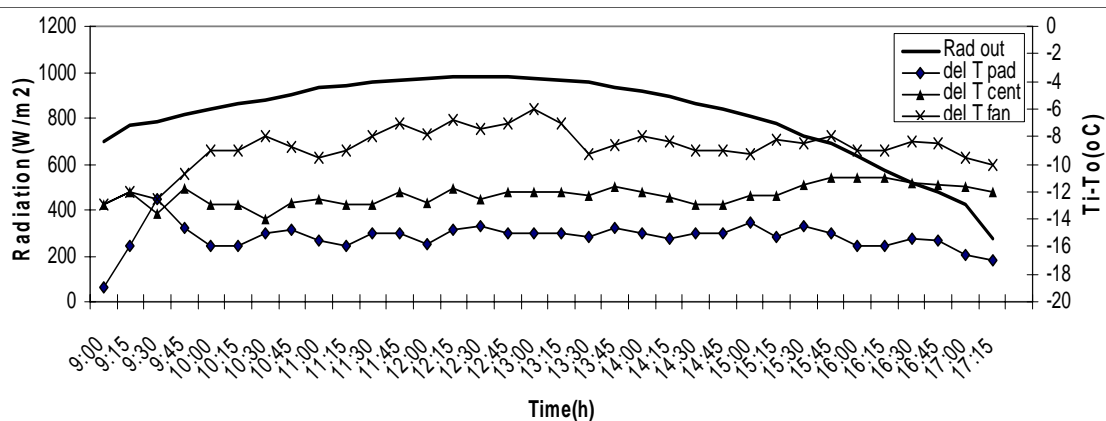
شکل ۶. تغییرات دمای حباب خشک در بیرون و داخل گلخانه



شکل ۷. تغییرات تابش بیرون و داخل گلخانه و نور دریافتی گلخانه



شکل ۸. روند تغییرات دمای حباب خشک و تر داخل و بیرون گلخانه در اثر تابش خورشید



شکل ۹. تغییرات اختلاف دمای ایجاد شده توسط سیستم سرمایشی در نقاط مختلف گلخانه در اثر تابش دریافتی

گلخانه از حدود ۵۰٪ در ساعت ۹ صبح به حدود ۳۰٪ در ساعات ظهر و عصر رسیده است.

همبستگی تابش دریافتی در سطح زمین و دمای گلخانه

همبستگی بین تابش دریافتی در سطح گلخانه و دمای داخل گلخانه در قبل و بعد از ظهر (به ترتیب از ساعت ۹ تا ۱۲:۳۰ و از ساعت ۱۲:۴۵ تا ۱۷:۳۰) در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۱ مشاهده می‌گردد، همبستگی بین تابش دریافتی در سطح گلخانه و دمای داخل گلخانه در قبل از ظهر قوی بوده است ($R^2=0.958$). این موضوع به مفهوم اثر کاملاً محسوس تابش دریافتی در تغییر دمای گلخانه با محیط بیرون است. هم‌چنین با توجه به شکل ۱۲ ملاحظه می‌شود که همبستگی بین تابش دریافتی در سطح گلخانه و دمای داخل گلخانه در بعد از ظهر ضعیف بوده است ($R^2=0.230$). این موضوع به علت بازتابش عصرگاهی گرمای زمین است.

همبستگی دمای بیرون و داخل گلخانه

براساس آنالیز انجام شده، دمای محیط بیرون و داخل گلخانه در تمام طول روز دارای همبستگی قوی با معادله رگرسیونی $Y=1.384X-26.379$ و $R^2 = 0.962$ بوده است (شکل ۱۳). این همبستگی در سطح ۱٪ نیز معنی‌دار گردیده

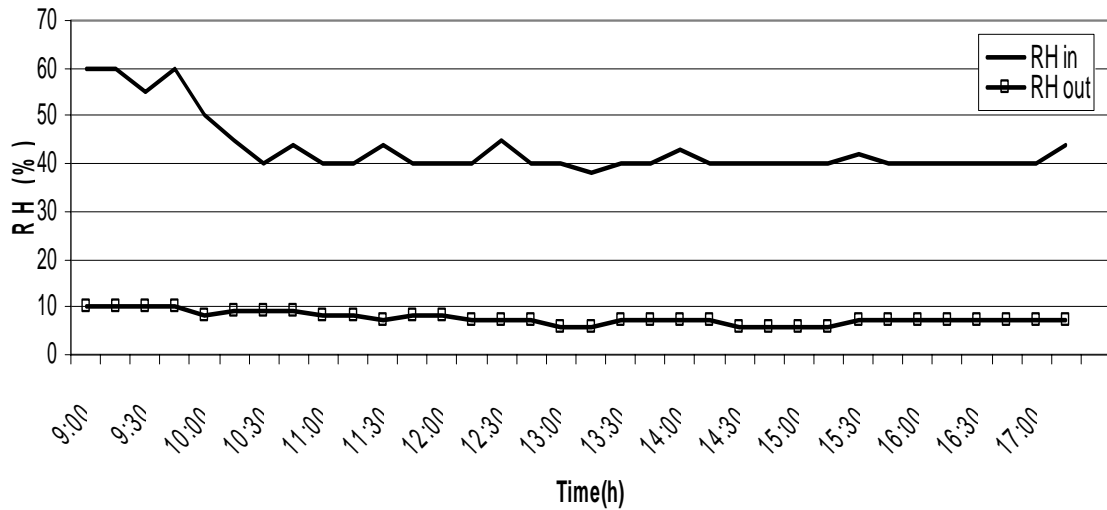
است. این موضوع ناشی از رطوبت نسبی کم در منطقه بوده است. هم‌چنین، تفاوت کمتر دمای تر و خشک داخل گلخانه (رطوبت بیشتر در گلخانه) ناشی از وجود گیاهان تحت کشت و کارکرد سیستم تبخیری (پد و فن) در گلخانه است.

اختلاف دمای حاصل از سیستم سرمایشی

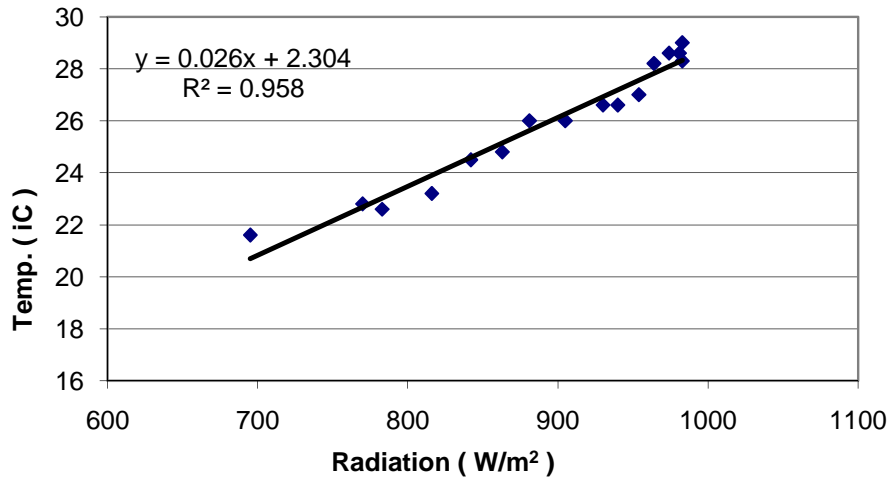
تأثیر تابش دریافتی از خورشید بر اختلاف دما در نقاط مختلف گلخانه در شکل ۹ ارائه گردیده است. بیشترین اختلاف دما به ترتیب ابتدا در منطقه پد، سپس در میانه گلخانه و آنگاه در سمت هواکش‌ها بوده است. از طرف دیگر، اختلاف دمای گلخانه با محیط بیرون در هوای خروجی از هواکش‌ها حدود ۷ درجه سلسیوس بوده است. لازم به ذکر است که براساس استاندارد NGMA (۲۱) برای گلخانه‌ای به طول ۳۴ متر، این مقدار باید در حدود ۴ تا ۵ درجه سلسیوس باشد. در این خصوص، اهمیت طول گلخانه با شیب حرارتی ایجاد شده براساس کارکرد سیستم سرمایش پد و فن، نمایان می‌گردد.

تغییرات رطوبت نسبی داخل و بیرون گلخانه در طول روز

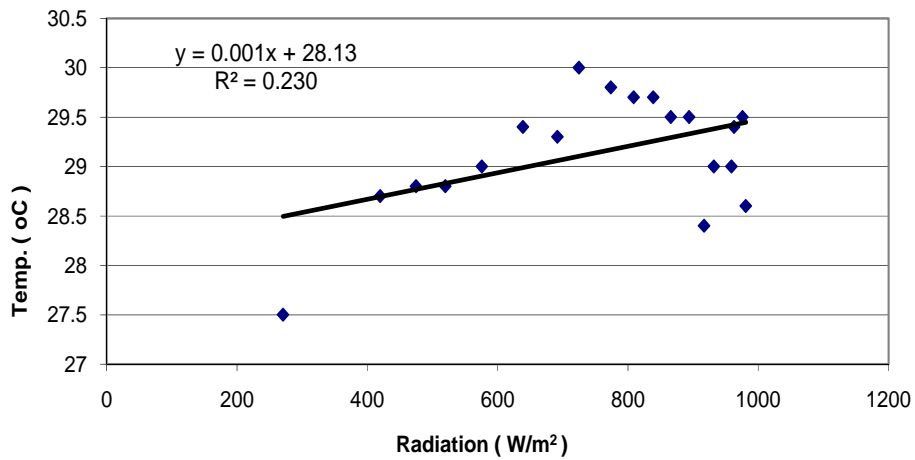
تغییرات رطوبت نسبی داخل و بیرون گلخانه در مدت زمان مطالعه در شکل ۱۰ ارائه شده است. همان‌گونه که از این شکل مشاهده می‌شود، تفاوت رطوبت نسبی داخل و بیرون



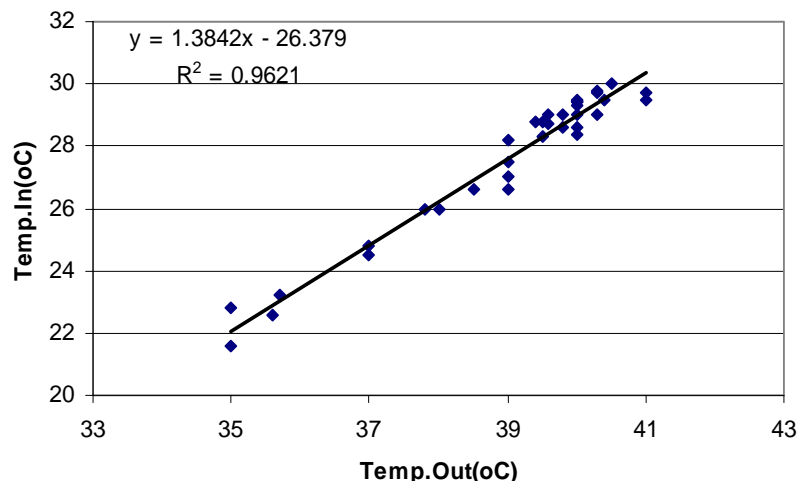
شکل ۱۰. تغییرات رطوبت نسبی داخل و بیرون گلخانه در طول روز



شکل ۱۱. همبستگی تابش دریافتی در سطح زمین و دمای گلخانه قبل از ظهر



شکل ۱۲. رابطه بین تابش دریافتی در سطح زمین و دمای گلخانه در بعد از ظهر



شکل ۱۳. همبستگی دمای بیرون و داخل گلخانه در تمام طول روز

کنترل گلخانه‌داران می‌باشند. بر همین اساس و با توجه به اثرگذاری هر یک از عوامل مورد بحث، بررسی دقیق‌تر این عوامل و نیز چگونگی تأثیر متقابل آنها در افزایش کارایی سیستم سرمایشی باید مورد توجه قرار گیرد. این موضوع با توجه به شرایط اقلیمی ایران و کمبود منابع آب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هم‌چنین، افزایش کارایی سیستم سرمایشی فن و پد به نحو مؤثری در کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های تولید در گلخانه‌ها مؤثر خواهد بود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از اداره هواشناسی شهرستان محلات به خاطر همکاری‌های خالصانه و در اختیار قرار دادن برخی از ابزار سنجش این تحقیق بسیار سپاسگزاریم. هم‌چنین، از ایستگاه ملی تحقیقات گل و گیاهان زینتی محلات که امکان اجرای این پژوهش را فراهم کردند، تشکر و قدردانی می‌نمائیم.

است. در اینجا نیز مشاهده می‌گردد که در ساعات عصرگاهی، پراکندگی بیشتری بین داده‌ها وجود دارد که ناشی از همان فرایند بازتابش گرمای زمین در طول بعد از ظهر است. در پژوهش انجام شده توسط گانگولی و گوش (۱۲) این همبستگی بررسی و با یافته‌های کیتاس و همکاران (۱۷) مقایسه شده است. یافته‌های تحقیقات قبلی با نتیجه به‌دست آمده در این تحقیق نیز مطابقت دارند. در واقع دمای داخل گلخانه به شدت تابع دمای بیرون گلخانه است.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که کارایی سرمایش در سیستم تبخیری فن و پد تحت تأثیر عوامل متعددی است که بدون مدیریت آنها، سیستم سرمایشی گلخانه‌ها، کارایی مناسبی نخواهد داشت. این عوامل شامل دمای خشک و تر محیط، تابش دریافتی، سطح خیس شده پد، میزان تهویه و طول گلخانه هستند. برخی از این پارامترها قابل کنترل و برخی نیز خارج از

منابع مورد استفاده

۱. زارعی، ق. ۱۳۸۷. برنامه راهبردی تحقیقات گلخانه (فصل چهارم: سازه و تجهیزات کنترل شرایط محیطی گلخانه‌ها). گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ۸۷/۶۵۸.
۲. بی‌نام. ۱۳۸۸. انرژی خورشیدی. سازمان انرژی‌های نو ایران، وزارت نیرو، ۴۳ صفحه.

3. Al-Shooshan, A. 1996. Comparison of different greenhouses cooling systems under arid climate condition. *Agric. Sci.* 8(1): 37-49.
4. Al-Helal, N.A. and A. Al-Ibrahim. 2004. A study of fan-pad performance for a photovoltaic powered greenhouse in Saudi Arabian summer. *Intl. Agric. Eng. J.* 6: 1-14.
5. Al-Helal, I. 2007. A pilot scale study on the performance of a fan-pad evaporative cooling system in regions with arid, humid and moderate climates of Saudi Arabia. Agricultural Research Center, College of Food & Agricultural Sciences, King Saud University, Report No. 17.
6. Arbel, A., O. Yekutieli and M. Barak. 1999. Performance of a fog system for greenhouses cooling. *J. Agric. Eng. Res.* 72(2): 129-136.
7. Bailey, B.J. 1981. Energy Conservation in Glasshouse using Thermal Screens in Energy for Industry. Pergamon Press, London, pp. 34-39.
8. Camilo, L., P. Medina, C. Souza and V. Machado. 2002. Photosynthetic response of citrus grown under reflective aluminized polypropylene shading nets. *Sci. Hort.* 96(4): 115-125.
9. Chandra, P., J.K. Singh and G. Majumdar. 1989. Some results of evaporative cooling of a plastic greenhouse. *J. Agric. Eng.* 26(3): 274-280.
10. Depascal, S. and A. Miaggo. 2008. Plant stress management in semiarid greenhouse. Department of Agricultural Engineering and Agronomy, University of Naples Federico, Italy.
11. Fuchs, M., E. Dayan and E. Presnov. 2006. Evaporative cooling of a ventilated greenhouse rose crop. *Agric. Forest Meteorol.* 138(1-4): 203-215.
12. Ganguly, A. and S. Ghosh. 2007. Modeling and analysis of a fan-pad ventilated floricultural greenhouse. *Energy Buildings* 39: 1092-1097.
13. Giacomelli, G.A. 1993. Evaporative cooling for temperature control and uniformity. ISHS International Workshop on Cooling Systems for Greenhouses, pp. 63-70.
14. Huseyin Ozturk, H. and M. Kara. 2003. Evaporative cooling efficiency of a fogging cooling system for greenhouses. *Turk. J. Agric.* 9(2): 49-57.
15. Huseyin Ozturk, H. 2004. The efficiency of fan and pad cooling system, sensible and latent heat transfer in a venlo glasshouse. *Turk. J. Agric.* 10(4): 381-388.
16. Jain, D. and G.N. Tiwari. 2002. Modeling and optimal design of evaporative cooling system in controlled environment greenhouse. *Energy Conv. Manage.* 43: 2235-2250.
17. Kittas, C., N. Katsoulas and A. Baille. 2001a. Influence of greenhouse ventilation regime on the microclimate and energy partitioning of rose canopy during summer conditions. *Biosyst. Eng.* 85(1): 87-94.
18. Kittas, C., T. Bartzanas and A. Jaffarin. 2001b. Greenhouse evaporative cooling: Measurement and data analysis. *Trans. ASAE* 44(3): 683-689.
19. Montero, J.I. 2006. Evaporative cooling in greenhouses: Effect on microclimate, water use efficiency and plant response. *Proc. of ISHS IS on Greenhouse Cooling*, Ed. B.J. Bailey, *Acta Hort.* 719:373-384.
20. Morris, L.G. 1956. Some aspects of plant environment control. *J. Agric. Eng. Res.* (1): 156-166.
21. National Greenhouse Manufactures Association (NGMA). 2004. Standards for ventilation and cooling of greenhouses. NGMA Publication No. 6462.
22. Sethi, V.P. and S.K. Sharma. 2007. Survey of cooling technologies for worldwide agricultural greenhouse applications. *Solar Energy* 81: 1447-1459.

Evaluation of efficiency of fan and pad cooling system in Mahallat region

S. Sadeghi¹, Gh. Zarei^{2*} and S.N. Mortazavi³

(Received: 05 March-2012 ; Accepted: 19 Apr-2013)

Abstract

For production of cut roses, as the most favorable and profitable crop in floriculture industry, optimization of growing conditions, especially temperature, is very important in all year round. This study was carried out to evaluate the efficiency of fan and pad cooling system of a cut rose research greenhouse with plastic tunnel structure, as a sample of arid and semiarid greenhouses of Iran. The main effective factors in efficiency of greenhouse cooling system including solar radiation, received light, and inside and outside temperature were measured from 9:00 am to 6:00 pm in 10 warmest days of summer of 2009. Then, the warmest day was selected for final analysis. Based on the past research results, the efficiency of pad-fan cooling system was calculated at different locations of the greenhouse, at different hours of the day, and the cooling efficiency at the hottest hour was considered as the final potential of the system. The results showed that efficiency of fan-pad system in Mahallat conditions was about 50-100 percent depending on the location in the greenhouse (distance to pad) and climatic conditions at data-gathering time (received light, air temperature and relative humidity inside the greenhouse). However, cooling efficiency at the warmest hour of the hottest day of the year was estimated as 75% at air entrance of the pad.

Keywords: Greenhouse, Cut rose, Outside temperature, Evaporative cooling system.

1. Technical & Engineering Department of Agricultural & Natural Resources Research Center of Markazi Province

2. Greenhouse Engineering Department of Agricultural Engineering Research Institute (Karaj)

3. Horticultural Department of Agricultural College of Zanjan University

*: Corresponding Author, Email: ghzareei4554@yahoo.com