

کنترل کامپیوتری شرایط محیطی گلخانه: قسمت اول - طراحی و پیاده سازی سیستم^۱ محمود امید و اردشیر شفایی^۲

تاریخ دریافت مقاله: ۸۳/۱/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۸۴/۱/۲۴

چکیده

در این تحقیق ضمن طراحی، ساخت، و پیاده سازی یک سیستم کنترل و مانیتورینگ کامپیوتری برای گلخانه، مدل، رفتار حرارتی، و رطوبتی درون گلخانه در شرایط مختلف جوی نیز بررسی شده است. برای آزمایش‌های میدانی، یک گلخانه به مساحت ۸ متر مربع (۴×۲ متر) طراحی و ساخته شد. برای پوشش گلخانه از دو لایه نازک پلاستیکی با ضخامت ۲۰۰ میکرومتر استفاده شد. چندین سنسور، یک کنترلر، چندین عمل کننده، و یک سیستم پردازش و جمع آوری و ثبت داده عناصر اصلی این سیستم را تشکیل می دهند. چندین عمل کننده شامل سیستم‌های گرمایشی، مه پاش، آبیاری و تهویه و چهار سنسور دما و رطوبت داخل و خارج گلخانه نصب و اطلاعات آنها به واسطه یک میکروکنترلر از طریق پورت RS232 به یک سیستم جمع آوری داده مبتنی بر یک کامپیوتر شخصی متصل شد. برای اجرای الگوریتم کنترل و نیز مانیتورینگ لحظه‌ای اطلاعات، یک رابط گرافیکی کاربر طراحی گردید. برای ارزیابی میدانی کنترلر، سیستم طراحی شده همراه با کلیه تجهیزات مربوط به عمل کننده‌ها و غیره در گلخانه مدل نصب و آزمایش‌های میدانی متعددی در آذرماه ۱۳۸۲ در دانشکده کشاورزی کرج اجرا شد. این نتایج حکایت از عملکرد صحیح بخش‌های مختلف سیستم، مانیتورینگ، و کنترل دارد. ضمناً کارایی سیستم برای تثبیت دما بسیار مطلوب و ثابت زمانی برای ثابت نگه داشتن دما در محدوده تنظیمی در حدود ۱۰ دقیقه بود.

واژه‌های کلیدی

گلخانه، کنترل، مانیتورینگ، کامپیوتر، میکرو کنترلر، تثبیت دما، تثبیت رطوبت

۱- برگرفته از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه تهران به شماره ۷۱۹/۳/۶۷۱

۲- به ترتیب استادیار گروه مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی بیوسیستم کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. تلفن/فکس: ۰۲۶۱-۲۸۰۲۸۳۸. پیام نگار: omid@ut.ac.ir، و کارشناس ارشد مهندسی مکانیک ماشین‌های کشاورزی

طراحی سیستمی بود که شرایط محیطی بهینه را برای گلخانه فراهم کند. این سیستم از سه قسمت اصلی سنسورها، برد میکروکنترلری، و کامپیوتر تشکیل شده بود [۶]. چالابی و همکاران (Chalabi et al., 1995) یک الگوریتم زمان واقعی را برای کنترل بهینه نقطه تنظیم‌های گرمایشی یک گلخانه تجاری کاشت گوجه فرنگی مورد استفاده و آزمایش قرار دادند [۳].

سمینار و همکاران (Seminar et al., 1998) طراحی را برای کنترل کامپیوتری گلخانه‌های مناطق گرمسیری ارائه دادند. در مناطق گرمسیری به واسطه سطوح بالای تابش خورشید در روز، رطوبت نسبی زیاد، دمای بالا، و نیز وجود نوسانات و تغییرات نامنظم این پارامترها، اجرای سیستم‌های متداول گلخانه‌ای با مشکلات خاصی همراه است. این محققان در طرح ارائه شده برای کنترل شرایط محیطی گلخانه از یک سیستم کنترل کامپیوتری حلقه بسته مبتنی بر کنترل کننده PID (تناسبی-انترگالی-مشتقی)^۳ و کنترلر منطق فازی^۴ (FLC) استفاده کردند [۱۲]. واگنر و همکاران (Wagner et al., 1999) طراحی را برای تبدیل سیستم‌های نیوماتیکی متداول در گلخانه‌های آمریکا به سیستم‌های کنترل کامپیوتری ارائه کردند. افزایش دقت، دستیابی به صرفه جویی بیشتر در مصرف انرژی، و فراهم شدن انعطاف پذیری بیشتر برای کاربر سیستم از اهداف عمده این طرح بود. سیستم طراحی شده به راحتی با سیستم‌های حرارتی/برودتی موجود در گلخانه سازگاری داشت و از یک قسمت جمع آوری داده، سیستم انتقال اطلاعات چندگانه، و یک FLC ساده بهره گرفته بود

اساس در این مرحله از طرح تنها دو پارامتر دما و رطوبت گلخانه اندازه‌گیری، کنترل، و مانیتور می‌شود. با این حال، سیستم کنترل کامپیوتری پیشنهادی به گونه‌ای طراحی شده است که به اندازه کافی قابل توسعه و انعطاف پذیر باشد. بدین ترتیب که با اعمال تغییرات جزئی در همین سیستم امکان اندازه‌گیری، مانیتورینگ، و کنترل سایر پارامترهای مؤثر در گلخانه نیز وجود خواهد داشت. همچنین ایجاد تغییرات نرم افزاری در سیستم برای بهبود کاربری آن یا ارتقا و توسعه الگوریتم‌های کنترل، کاملاً امکان پذیر است.

سان (Sun, 1992) در مورد سیستم‌های کنترل کننده شرایط محیطی گلخانه تحقیقاتی را به انجام رساند. او از یک سیستم مبتنی بر میکرو کنترلر برای کنترل و مانیتورینگ دمای هوا، دمای خاک، و نور درون گلخانه استفاده کرد. سخت افزار سیستم از یک واحد اصلی، تعدادی سنسور، مبدل‌های آنالوگ به دیجیتال^۱ (ADC)، مالتی پلکسر^۲، خروجی‌های کنترلی، و نمایشگر تشکیل شده بود. با استفاده از یک واحد ورودی/خروجی چندگانه مبتنی بر مالتی پلکسر، امکان کنترل و مانیتورینگ مستقل چند فاز گلخانه به‌طور همزمان فراهم شد [۱۵]. لیپوف (Lipov, 1992) یک سیستم کنترل کامپیوتری هوشمند را برای کنترل شرایط محیطی گلخانه طراحی کرد. وی پارامترهایی نظیر دما، نور، رطوبت، دی اکسید کربن، و همچنین میزان مواد تغذیه‌ای محلول در آب آبیاری را اندازه‌گیری و کنترل کرد [۸]. هون و همکاران (Hoon Jae et al., 1995) روی یک سیستم کنترل خودکار اندازه‌گیری شرایط محیطی گلخانه مطالعه کردند. هدف آنها

[۱۶]. گیت و همکاران (Gates et al., 1999) نیز یک سیستم کنترل حلقه بسته مبتنی بر کنترل کننده فازی طراحی و نتایج حاصل از شبیه سازی در محیط سیمولینک MATLAB را با نتایج به دست آمده از کنترل کننده‌های سنتی مقایسه کردند [۵].

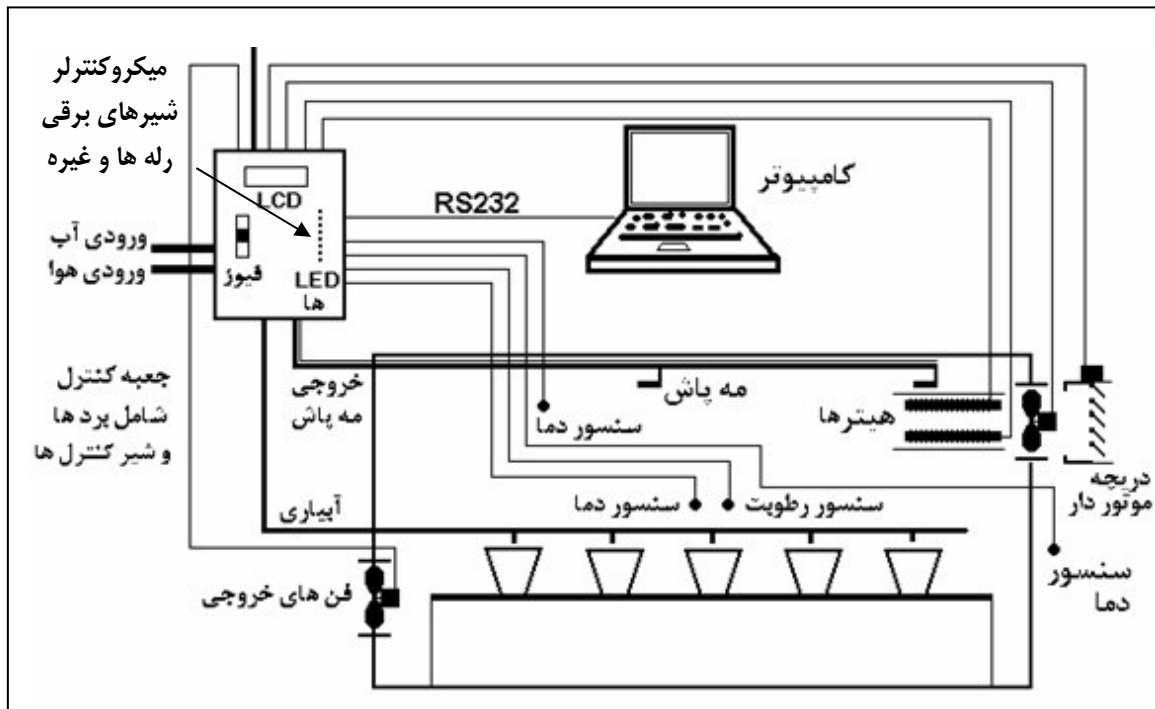
عام اور و همکاران (Ameur et al., 2001) در زمینه مانیتورینگ شرایط محیطی گلخانه با استفاده از یک سیستم میکروکنترلی تحقیق کردند. در این تحقیق یک سیستم جمع آوری داده مبتنی بر میکروکنترلر 80C32 طراحی شد. این سیستم می تواند به تنهایی اطلاعات مربوط به وضعیت یک ماه از سیستم را جمع آوری و ذخیره کند. اطلاعات حاصل از سنسورها روزانه در یک حافظه قابل حمل^۱ ذخیره می شود. از این سیستم برای مانیتورینگ شرایط محیطی یک گلخانه پرورش موز در مکانی دوردست در الجزایر استفاده شده است. پرورش موز به شرایطی محیطی دارای رطوبت نسبی بالا و دمای در حدود ۲۵ درجه سانتی گراد نیاز دارد. با استفاده از این سیستم امکان ارزیابی و مدیریت شرایط محیطی گلخانه های پرورش موز در هر مکان و موقعیت به خوبی فراهم می شود [۲]. مرهانتو و سینگ (Marhaenato & Singh, 2002) طرحی را در زمینه مانیتورینگ و کنترل شرایط محیطی گلخانه ارائه داده اند. هدف از تحقیق آنها این بود که با استفاده از کامپیوترهای قدیمی یک سیستم قابل برنامه ریزی برای مانیتورینگ و کنترل شرایط محیطی گلخانه در محیط DOS طراحی و اجرا کنند. این سیستم کنترلی برای تثبیت سه پارامتر دما، رطوبت نسبی، و آب مصرفی گلخانه در حد مقادیر مطلوب و از پیش تعیین شده، طراحی شده

بود [۹].

مواد و روش‌ها

با توجه به سادگی و کاربرد گسترده کنترل کننده‌ای دو وضعیتی (ON/OFF) در تحقیقات دیگر پژوهشگران، در تحقیق حاضر نیز یک کنترل کننده دو وضعیتی هیستریزیس^۲ قابل تنظیم را طراحی و به کمک میکروکنترلر پیاده سازی کردیم. برای ایجاد یک سیستم نظارتی و کنترلی قابل برنامه ریزی و انعطاف پذیر، الگوریتم‌های کنترلی در کامپیوتر پیاده سازی شدند. در سیستم‌های کنترل کامپیوتری، برای کنترل هر متغیری (مثلاً دما، رطوبت، و غیره) ابتدا متغیر مربوط شناسایی و اندازه گیری و نتیجه به کنترل کننده انتخابی اعمال می شود. کنترل کننده میزان تغییرات مورد نیاز در سیستم را محاسبه و دستور لازم را برای تغییر وضعیت عمل کننده‌های گلخانه صادر می کند تا مقدار متغیر مورد نظر (مثلاً دما یا رطوبت) به حد مورد نظر تغییر یابد. بنابراین، سنسورها، برد کنترلی، و همچنین عمل کننده‌ها^۳ اجزای اصلی سخت افزاری چنین سیستم‌های کنترلی را تشکیل می دهند. برای تحقق اهداف تحقیق حاضر، کارهای زیر انجام شد:

- ۱- طراحی و نصب سنسورها، تجهیزات کنترلی، میکروکنترلر، و دیگر بخش‌های سخت افزاری سیستم و در آخر ارتباط دهی سخت افزار سیستم به کامپیوتر (بخش نرم افزار).
- ۲- طراحی و پیاده سازی واسط گرافیکی کاربر به منظور نظارت بر سیستم و همچنین اجرای الگوریتم‌های کنترلی.



شکل شماره ۱- نمایی از گلخانه، تجهیزات کنترلی، سنسورها، و اتصالات

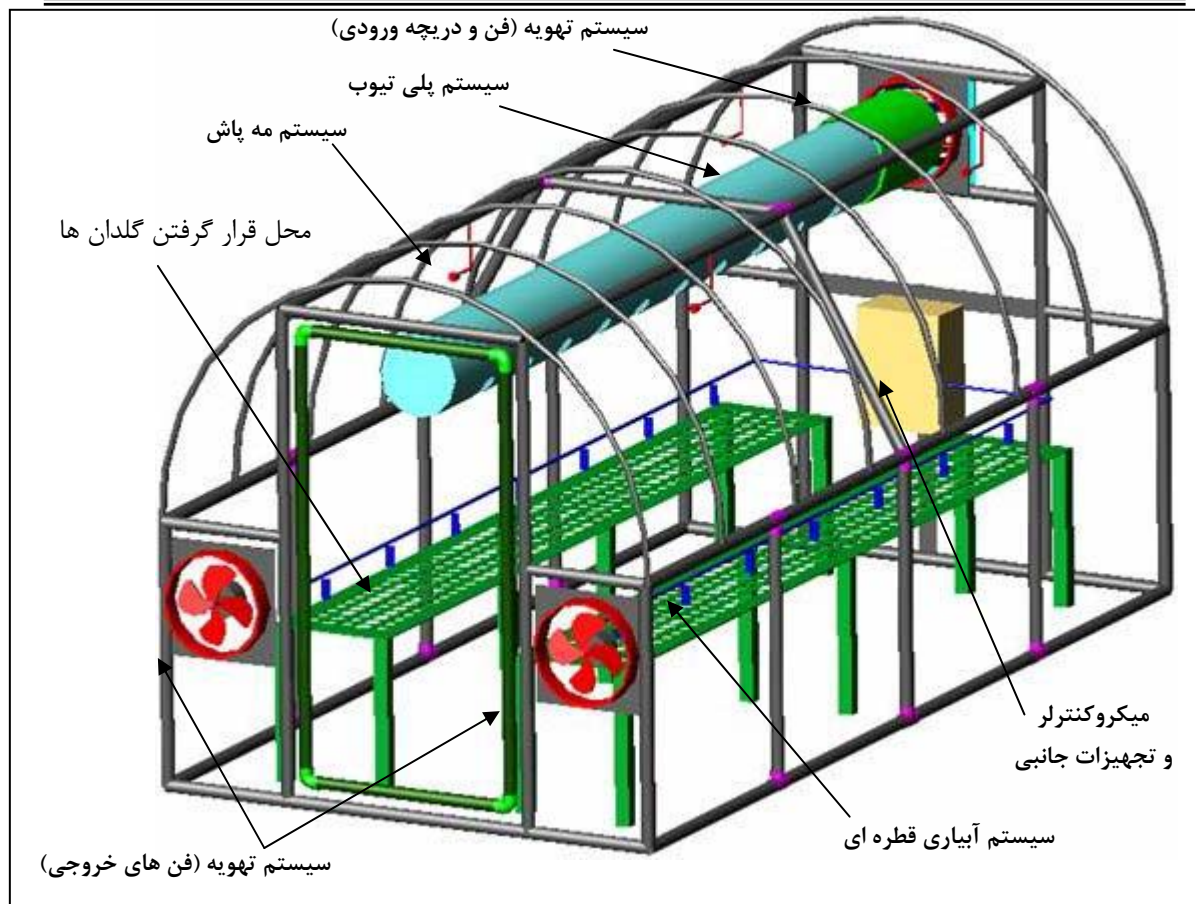
و برای پوشش آن از دو لایه نازک پلاستیکی به ضخامت ۲۰۰ میکرومتر استفاده شد (شکل شماره ۲ نمایی از گلخانه طراحی شده را نشان می دهد).

طراحی تجهیزات کنترلی شرایط محیطی

تجهیزات کنترلی مورد نیاز برای کنترل دما، رطوبت، و آب مصرفی مطابق با ابعاد گلخانه طراحی و داخل گلخانه نصب شد. تجهیزات کنترلی سیستم شامل سیستم های گرمایشی، تهویه مکانیکی، توزیع هوای یکنواخت، مه پاش، و سیستم آبیاری قطره ای است که مطابق شکل شماره ۲ در داخل گلخانه نصب شد.

شمای کلی سیستم کنترلی طراحی شده در شکل شماره ۱ نشان داده شده است. در ادامه، چگونگی طراحی و ساخت سخت افزاری سیستم به اختصار شرح داده می شود. جزئیات کامل مربوط به طراحی سیستم و نحوه پیاده سازی سیستماتیک آن در گزارش نهایی طرح تحقیقاتی [۱۱] و پایان نامه کارشناسی ارشد [۱۴] موجود است.

به منظور اجرای آزمایش های میدانی لازم بود سیستم طراحی شده داخل گلخانه نصب شود. لذا یک گلخانه مدل طراحی و ساخته شد، گلخانه ای قوسی شکل به مساحت ۸ متر مربع (۴×۲ متر و ارتفاع ۲ متر در مرکز آن) که سازه های آن از جنس لوله های پلی اتیلن بود



شکل شماره ۲- نمایی از گلخانه مدل طراحی شده و تجهیزات کنترلی آن

این تجهیزات در شماتیک شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

برای محاسبه توان حرارتی از جداول استاندارد موجود برای گلخانه‌های کوانست (قوسی شکل) استفاده شد [۱۰ و ۱۴]. با توجه به ابعاد گلخانه مدل، حداکثر اختلاف دمای محیط بیرون و درون گلخانه و درون‌یابی از جداول استاندارد، کل توان حرارتی مورد نیاز ۴۹۰۰ وات محاسبه شد. با توجه به اینکه توان حرارتی مورد نیاز برای گرمایش گلخانه با میزان اختلاف دمای محیط بیرون و دمای درون گلخانه رابطه مستقیم دارد در انتخاب هیترها

سیستم گرمایشی شامل یک هیتر سه مرحله‌ای متشکل از ۸ فیلامان (شکل‌های شماره ۲ و ۳ ج)، سیستم تهویه مکانیکی شامل یک فن ورودی و دو فن خروجی (شکل شماره ۲)، سیستم توزیع هوای یکنواخت شامل یک تیوب پلی اتیلنی مشبک به طول ۳ متر و قطر ۲۵ سانتی‌متر (شکل شماره ۲)، سیستم مه‌پاش شامل ۴ نازل پودر کننده آب، شیرهای برقی مه‌پاش، جریان هوا، و کنترل دبی (شکل‌های شماره ۲ و ۳ الف، ب، د)، و سیستم آبیاری قطره‌ای (شکل شماره ۲) شامل یک شیر برقی (شکل شماره ۳ ب)، شیلنگ، و ۸ قطره چکان است. محل واقعی استقرار

است [۷]. لذا برای گلخانه طراحی شده نرخ تهویه برای جبران CO_2 به صورت ذیل محاسبه می‌گردد:

$$\text{مساحت گلخانه} \times 0/6 = \text{میزان تهویه برای جبران } CO_2 \\ \text{ساعت/متر} = 288 = \text{دقیقه/متر} \times 4/8 =$$

همچنین در شرایط استاندارد، برای خنک‌کنندگی زمستانه و تابستانه به ترتیب میزان تهویه بین $0/61-0/91$ متر بر دقیقه و بین $1/2-1/5$ متر بر دقیقه به ازای هر متر مربع از مساحت کف گلخانه مورد نیاز است [۷]. لذا برای گلخانه طراحی شده بیشترین میزان تهویه برای این دو وضعیت برابر است با:

$$\text{مساحت گلخانه} \times 0/91 = \text{میزان تهویه زمستانه} \\ \text{ساعت/متر} \cong 440 = \text{دقیقه/متر} \times 7/3 =$$

$$\text{مساحت گلخانه} \times 1/3 = \text{میزان تهویه تابستانه} \\ \text{ساعت/متر} \cong 624 = \text{دقیقه/متر} \times 10/4 =$$

برای تأمین حداکثر میزان تهویه مورد نیاز (حدود ۶۲۵ متر بر ساعت)، دبی فن ورودی باید با مجموع دبی‌های فن‌های خروجی برابر یا دست کم به اندازه‌ای باشد که ماکزیمم میزان تهویه محاسبه شده را تأمین کند. برای جبران افت فشار در سیستم توزیع هوای یکنواخت لازم است دبی فن ورودی اندکی بیش از دبی فن‌های خروجی انتخاب شود. با توجه به این محاسبات و نیز با توجه به فن‌های تجاری موجود در بازار برای خروجی، دو فن شعاعی هر کدام با دبی ۲۸۰ متر مکعب بر ساعت و برای فن ورودی نیز یک فن شعاعی با دبی ۸۵۰ متر

سعی گردید تا توان حرارتی تولید شده در محدوده حداکثر اختلاف دماهای داخل و بیرون گلخانه باشد. به همین دلیل ۴۹۰۰ وات مورد نیاز به دو قسمت مستقل ۱۹۰۰ و ۳۰۰۰ وات تقسیم شد تا فرآیند گرمایشی را متناسب با نیاز (شرایط جوی، ساعت روز، فصل و غیره) در سه توان حرارتی مختلف به انجام رساند.

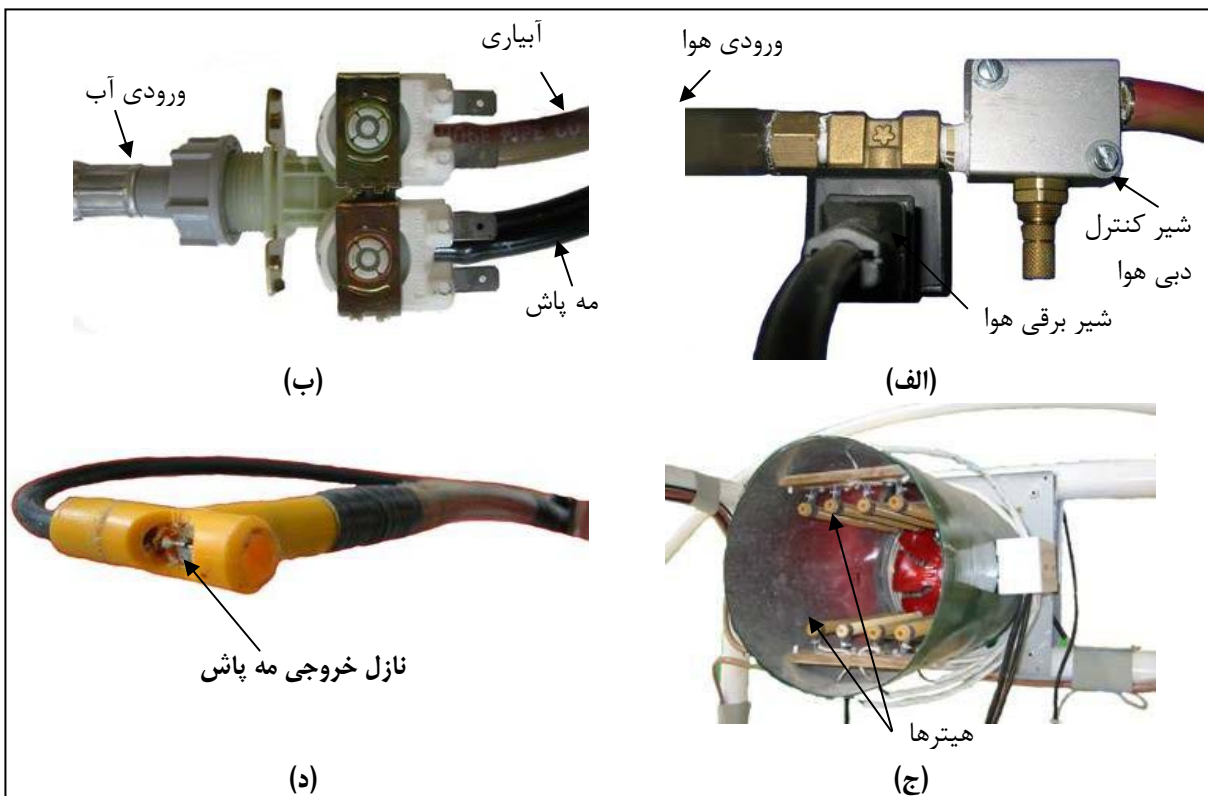
سیستم تهویه و گردش هوای مکانیکی گلخانه شامل یک دریچه تهویه موتوردار و یک فن در قسمت ورودی، دو فن در قسمت خروجی، و یک لوله پلی اتیلنی مشبک (سوراخ شده) برای توزیع یکنواخت هوای ورودی است (شکل شماره ۲). برای تهویه، فن‌های خروجی روشن می‌شوند و هوای موجود در گلخانه را به سمت بیرون هدایت می‌کنند. همزمان با این عمل، فن ورودی هوای تازه محیط بیرون را به داخل می‌مکد و از طریق سیستم توزیع هوای یکنواخت، در سراسر گلخانه توزیع می‌کند. در این گلخانه فرآیند تهویه برای دستیابی به اهداف اصلی یکی جبران سازی دی اکسید کربن (CO_2) و دیگری خنک‌کنندگی زمستانه و تابستانه انجام می‌پذیرد. با توجه به اینکه میزان تهویه مورد نیاز برای شرایط مختلف مثل تأمین CO_2 و خنک‌کنندگی، متفاوت است، فن‌های مورد استفاده باید به گونه‌ای انتخاب شوند که در شرایط مختلف کارایی مطلوب داشته باشند. در شرایط استاندارد، برای جبران CO_2 مورد نیاز به ازای هر یک متر مربع از مساحت کف گلخانه، میزان تهویه‌ای برابر با $0/6$ متر بر دقیقه مورد نیاز

مکعب بر ساعت تهیه شد. برای تأمین فشار استاتیکی مورد نیاز سیستم توزیع هوای یکنواخت، فن ورودی از نوع دور بالا با ۲۸۰۰ دور بر دقیقه انتخاب شد.

برای فرآیند خنک‌کنندگی و افزایش رطوبت نسبی درون گلخانه از سیستم مه‌پاش استفاده شد. در حالت خنک‌کنندگی برای کاهش دما، سیستم مه‌پاش همزمان با فرآیند تهویه فعال می‌شود. اما در حالت افزایش رطوبت، تهویه متوقف و تنها فرآیند گردش هوا فعال می‌شود. در این حالت، با فعال شدن سیستم مه‌پاش، رطوبت محیط درون گلخانه افزایش می‌یابد. سیستم مه‌پاش طراحی شده بر مبنای پودر شدن ذرات آب در مجاورت جریان شدید هوا عمل می‌کند. بدین صورت که جریان آب و هوای تحت فشار از دو مسیر جداگانه به سر نازل مه‌پاش منتقل می‌شود و در آنجا جریان آب با هوای تحت فشار خارج شده از نازل برخورد می‌کند و به سرعت تبدیل به پودر می‌شود و سپس به شکل مه در محیط گلخانه پخش خواهد شد (شکل‌های شماره ۳ الف، ب و د). برای پوشش کامل محیط گلخانه چهار نازل مه‌پاش ساخته و نصب شد. جریان هوای مورد نیاز برای سیستم مه‌پاش از طریق یک شیر کنترل دبی (شکل شماره ۳ الف) و یک شیر قطع و وصل برقی (شکل شماره ۳ الف)؛ تنظیم و کنترل می‌شود. جریان آب مورد نیاز

سیستم مه‌پاش را یک شیر برقی جداگانه کنترل می‌کند (شکل شماره ۳ ب). برای شروع مه‌پاشی، سیستم کنترلی به‌طور همزمان شیر کنترل‌های برقی را فعال می‌کند. در این طرح، از یک شیر کنترل دبی برای تنظیم اولیه دبی هوای تحت فشار و در نتیجه میزان پودر شدن ذرات آب استفاده شده است.

برای تأمین آب گلدان‌های داخل گلخانه از سیستم آبیاری قطره‌ای استفاده شده است. یک شیر برقی وظیفه راه‌اندازی سیستم آبیاری را به عهده دارد (شکل شماره ۳ ب). این شیر مطابق با تنظیم‌های زمانی اعمال شده در بخش مانیتورینگ سیستم، در زمان‌های مقرر فعال می‌شود و مسیر عبور آب را به سمت قطره‌چکان‌ها باز می‌کند تا آبیاری انجام پذیرد. برای آبیاری خودکار مطابق با برنامه‌های زمانی از پیش تعیین شده، استفاده از تایمر روشی نسبتاً ساده و متداول است. تایمر مطابق با دوره مناسب آبیاری زمانبندی می‌شود. با فرا رسیدن هر نوبت آبیاری عملگرهای مربوط به سیستم آبیاری به‌طور خودکار فعال و آبیاری شروع می‌شود. نوبت آبیاری نیز به کمک تایمرهای جداگانه قابل برنامه‌ریزی است، ولی عیب اصلی این سیستم‌ها این است که تنها برنامه از پیش تعیین شده را اجرا می‌کنند و نمی‌توانند شرایط و نیازهای غیر مترقبه را تأمین کنند.



شکل شماره ۳- تجهیزات کنترلی سیستم شامل (الف) تجهیزات کنترل جریان هوای سیستم مه پاش، (ب) شیرهای برقی مربوط به کنترل آب سیستم آبیاری و مه پاش، (ج) سیستم گرمایشی، و (د) سیستم مه پاش

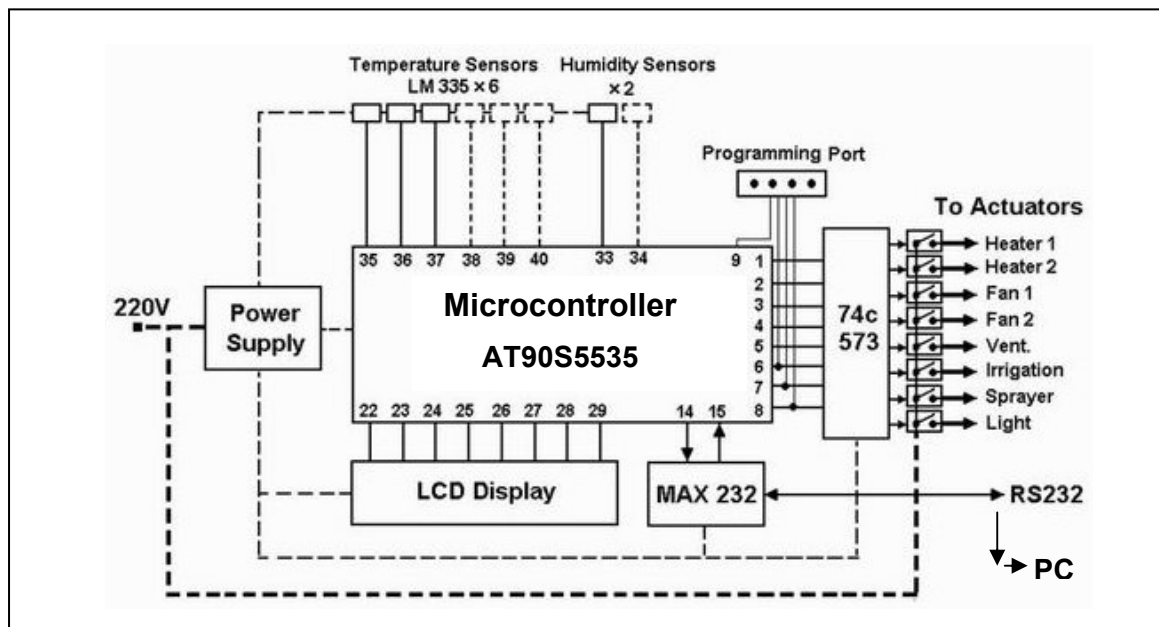
استفاده شده است (شکل شماره ۳ الف). این میکروکنترلر چهار پورت ورودی و خروجی دارد که یکی از آنها برای ورودی‌های آنالوگ است. پایه‌های مورد استفاده، در شکل شماره ۴ نشان داده شده‌اند. یکی از پورت‌های دیجیتال (پایه‌های ۱ تا ۹) برای راه اندازی رله‌هاست.

رله‌ها برای راه اندازی تجهیزات مختلف گلخانه هستند (جدول شماره ۱ را ببینید). آی سی^۱ واسط 74C573 رله‌ها را راه‌اندازی می‌کند (شکل شماره ۵ ب). میکروکنترلر مطابق با فرمان‌های دریافتی از کامپیوتر سیگنال لازم را به این آی سی می‌فرستد. آی سی نیز

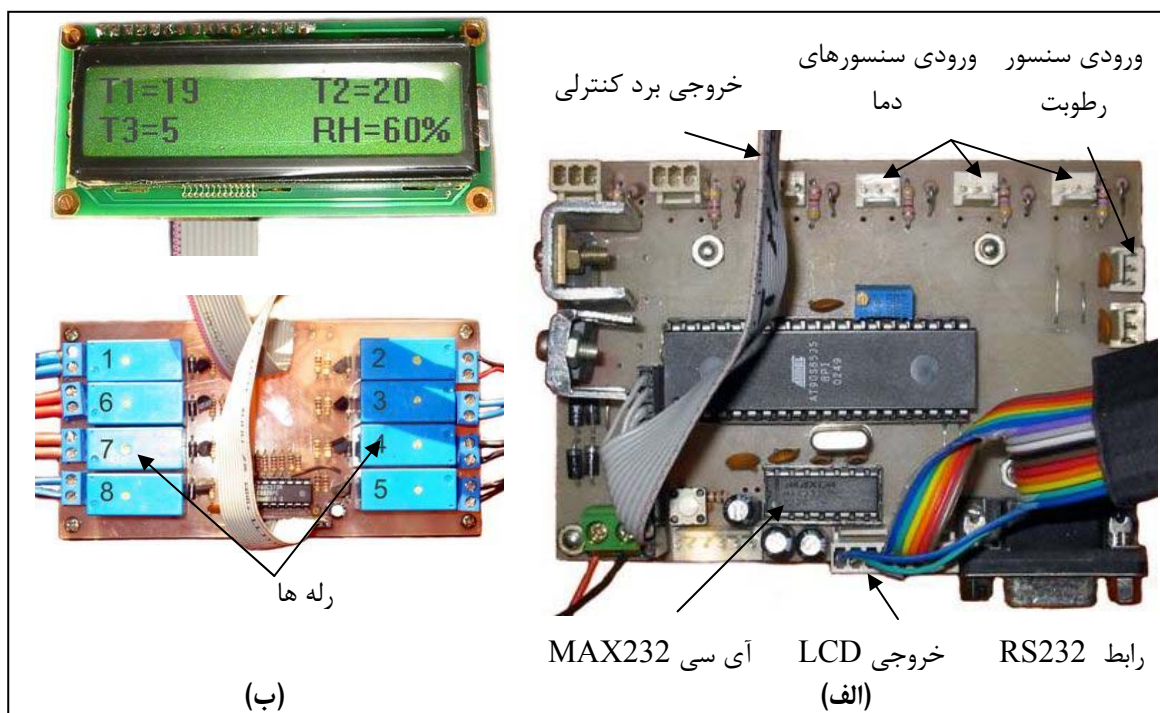
طراحی و ساخت کنترل کننده دو وضعیتی
ما در این تحقیق یک کنترل کننده دو وضعیتی با هیستریزس قابل تنظیم طراحی و به کمک میکروکنترلر پیاده سازی کردیم. بخش سخت افزاری این سیستم که در شکل شماره ۴ نشان داده شده است از سه بخش اصلی شامل سنسورهای اندازه گیری پارامترهای گلخانه، میکروکنترلر، و کامپیوتر جهت جمع‌آوری داده‌ها تشکیل شده است.

میکروکنترلر
پس از بررسی‌های لازم و آینده نگری در خصوص امکان توسعه آتی سیستم، در این طرح از میکروکنترلر مدل AVR 5535 ساخت ATMEL

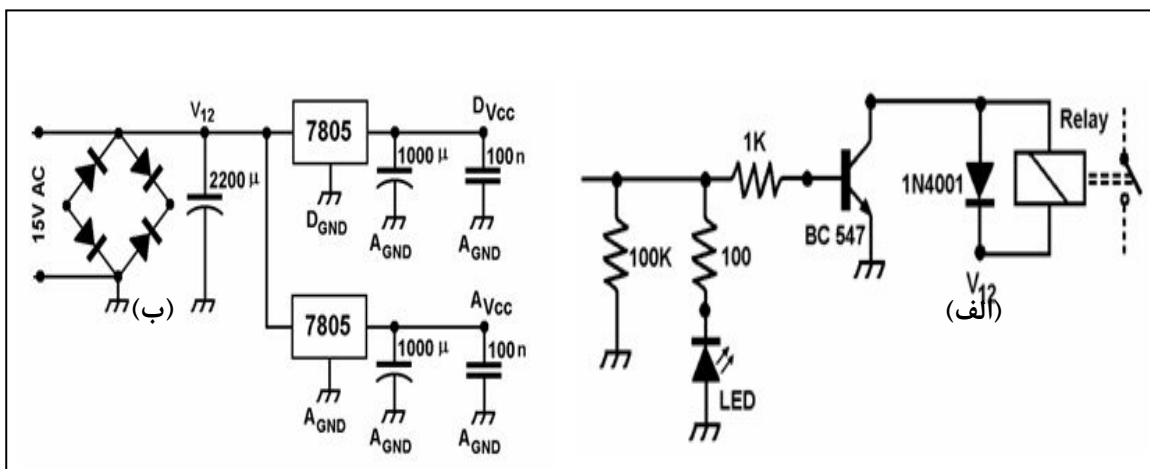
به نوبه خود رله ها را راه اندازی می کند. راه اندازی رله مربوط و دیودهای نوری خروجی های هشت گانه 74C573 وارد یک (LEDs) شاخص آن تأمین کنند (شکل شماره مدار راه انداز ثانویه می شوند تا ولتاژ لازم را برای ۶ الف).



شکل شماره ۴- اجزای اصلی سیستم کنترل و مانیتورینگ کامپیوتری



شکل شماره ۵- میکروکنترلر (الف) برد اصلی و (ب) نمایشگر LCD (بالا) و برد کنترلر (پایین)



شکل شماره ۶- مدارهای الکترونیکی طراحی شده برای سیستم: (الف) مدار راه انداز رله ها و (ب) مدار منبع تغذیه برای تأمین ولتاژهای لازم ۵ و ۱۲ ولت قسمت‌های مختلف سیستم

از یکی دیگر از پورت‌های دیجیتال موجود در میکروکنترلر (پایه‌های ۲۲ تا ۲۹) برای راه اندازی نمایشگر LCD ۱۲×۲ کاراکتری استفاده شده است (شکل شماره ۵ ب). پایه‌های ۱۴ و ۱۵ جهت دریافت و ارسال داده‌ها به پورت سریال RS232 کامپیوتر هستند. این کار از طریق آی سی واسط MAX 232 صورت می‌گیرد بدین نحو که پالس‌های ایجاد شده توسط میکروکنترلر (صفر تا ۵ ولت) را به پالس‌های ۱۲ تا ۱۵ ولت مطابق با استاندارد پروتکل RS232 تبدیل می‌کند. خروجی رابط RS232 و آی سی واسط MAX 232 در شکل شماره ۵ الف نشان داده شده‌اند. مدار منبع تغذیه شکل شماره ۶ (ب) ولتاژهای مرجع ۱۲ ولت و ۵ ولت مورد نیاز را برای قسمت‌های مختلف سیستم فراهم می‌کند. برای تأمین ولتاژهای ۵ ولت از دو رگولاتور ولتاژ ۷۸۰۵ استفاده شده است.

جدول شماره ۱- رله‌های مختلف و تجهیزات مربوط به آنها

رله ۱	رله ۲	رله ۳	رله ۴	رله ۵	رله ۶	رله ۷	رله ۸
هیتر ۱	هیتر ۲	فن	فن‌های خروجی	دریچه تهویه	شیر کنترل آبیاری	شیرهای کنترل سیستم مه پاش	سیستم روشنایی

طراحی و پیاده سازی واسط گرافیکی کاربر

برای اجرای الگوریتم کنترل و نیز مانیتورینگ لحظه‌ای اطلاعات، یک برنامه کامپیوتری با استفاده از زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک نوشته شده است. این برنامه اطلاعات مربوط به سنسورها را که از طریق پورت RS232 وارد کامپیوتر می‌شوند، دریافت، ذخیره و پردازش می‌کند. اطلاعات به دست آمده به صورت لحظه‌ای به شکل نمودارهای مجزا روی نمایشگر کامپیوتر نمایش داده می‌شوند. نرم افزار طراحی شده علاوه بر مانیتورینگ اطلاعات، وظیفه اجرای الگوریتم‌های کنترلی مربوط به دما و رطوبت را نیز به عهده دارد. برای هر یک از پارامترهای دما یا رطوبت سه پارامتر کنترلی در برنامه تعریف شده است: پارامتر اول مربوط به مقادیر یا نقاط تنظیمی^۱ (SP) دما و رطوبت نسبی است که در واقع هدف سیستم گلخانه‌ای طراحی شده، تأمین و تثبیت دما و رطوبت نسبی داخل گلخانه در این مقادیر است. دو پارامتر دیگر شامل مقادیر پارامترهای کنترلی (آفست‌ها^۲) مربوط به عملکرد ON و OFF تابع کنترل (هیستریزیس) حول هر یک از نقاط تنظیم است.

مثلاً، برای کنترل دما دو مقدار به عنوان SP تعریف شده‌اند که مقدار اول مربوط به دمای روز و مقدار دوم مربوط به دمای شب است. بدین ترتیب که در محدوده زمانی از ساعت ۶ صبح تا ۶ بعد از ظهر مقدار دمای روز به عنوان SP انتخاب می‌شود و خارج از این محدوده شرایط مربوط به وضعیت شب اعمال خواهد شد. این روند به‌طور پیوسته توسط برنامه بررسی می‌شود. در مرحله دوم مقدار SP در فواصل زمانی مشخصی با دمای بیرون

گلخانه (T_{out}) مقایسه می‌شود و بر اساس اینکه دمای بیرون کمتر یا بیشتر از آن باشد یکی از این دو حالت اتفاق می‌افتد: در حالت $T_{out} < SP$ شرایط زمستانه اعمال می‌شود و گرنه شرایط تابستانه حکم فرماست. در حالت اول برحسب مورد ممکن است فعال شدن یکی از فرآیندهای گرمایشی یا خنک کنندگی زمستانه مورد نیاز باشد. اما در حالت دوم تنها فرآیند خنک کنندگی تابستانه برای کنترل دما منظور می‌شود. شروع یا توقف هر یک از این فرآیندها توسط یک الگوریتم خاص انجام می‌گیرد. با مقایسه مقادیر مربوط به T_{out} و دمای وسط گلخانه (T_{mid})، در سطح گیاه، با مقدار SP و با توجه به پارامترهای کنترلی آفست (V_{ON} و V_{OFF}) مربوط به هیستریزیس سیستم انجام می‌گیرد. فلوچارت کامل محاسباتی که برنامه باید اجرا کند برای فرآیندهای کنترل دما (که شرح آن در بالا آمد)، رطوبت، آبیاری و غیره تهیه و در قسمت نرم افزار برنامه پیاده سازی شده‌اند [۱۱، ۱۳، و ۱۴].

الگوریتم‌های کنترلی پیاده سازی شده در برنامه با مقایسه و سنجش لحظه‌ای اطلاعات مربوط به دما و رطوبت گلخانه، بر حسب مورد فرمان‌های کنترلی مناسب را به میکروکنترلر ارسال می‌کنند. میکروکنترلر نیز بالتبع آن رله‌های مربوط به راه‌اندازی تجهیزات کنترلی گلخانه را در جهت تأمین شرایط محیطی مورد نظر تغییر وضعیت (خاموش / روشن) می‌دهد. عمر تجهیزات دو وضعیتی به تعداد قطع و وصل شدن آنها بستگی دارد، لذا در این طرح از ON/OFF هیستریزیس استفاده شده است. بنابراین کم کردن اختلاف بین پارامترهای کنترلی برای رسیدن به دقت بالاتر در

تجهیزات و شیرهای برقی تهیه و مدارهای الکترونیکی لازم طراحی شد. خروجی مدارها مستقیماً به کانال‌های ورودی میکروکنترلر اعمال شدند. این تجهیزات به واسطه یک میکروکنترلر از طریق پورت RS232 به یک کامپیوتر شخصی متصل یا لینک شدند.

نحوه کار سیستم از این قرار است: ابتدا داده‌های مربوط به وضعیت محیطی گلخانه با استفاده از سه سنسور دما و یک سنسور رطوبت به یک برد میکروکنترلری منتقل می‌شوند. میکروکنترلر داده‌های دریافتی را به صورت دیجیتال از طریق پورت سریال RS232 برای کامپیوتر ارسال می‌کند. کامپیوتر با فاصله نمونه برداری یک دقیقه‌ای داده‌ها را ثبت و نمایش می‌دهد. به طور همزمان، (بر حسب مورد) ممکن است میکروکنترلر فرمان‌های کنترلی ارسال شده از کامپیوتر را دریافت کند و متناسب با این فرمان‌ها، عمل‌کننده‌های مربوط به سیستم‌های کنترلی گلخانه (توسط ۸ رله) را در جهت تأمین شرایط مطلوب، تغییر وضعیت دهد. برای اجرای الگوریتم‌های کنترلی و مانیتورینگ لحظه‌ای شرایط محیطی گلخانه، برنامه‌ای مناسب در محیط ویندوز نوشته شد. این برنامه اطلاعات مربوط به سنسورها را از طریق پورت سریال RS232 کامپیوتر دریافت، ذخیره، و به صورت روی خط^۱ و به شکل چهار نمودار مجزا برای سنسورهای دما و رطوبت روی صفحه نمایشگر عرضه می‌کند.

قبل از هر آزمایشی، لازم بود تا سنسورهای دما و رطوبت کالیبره شوند. سنسور رطوبت به صورت سفارشی تهیه شده است و قبلاً کالیبره شده بود. برای کالیبره کردن سنسورهای دما، آنها در ظرفی

سیستم موجود، علاوه بر کاهش عمر تجهیزات احتمالاً باعث ایجاد نوسانات زیاد در تجهیزات کنترلی می‌شود. الگوریتم‌های کنترل دما و رطوبت مطابق با مقادیر دما، رطوبت و نیز پارامترهای تابع کنترلی مربوط به نقاط تنظیم و مقادیر آفست برای ایجاد هیستریزس که در منوی تنظیمات برنامه تعریف شده‌اند عمل می‌کنند. در آزمایش‌های انجام گرفته، ماکزیمم مقدار آفست ON در مورد فرایندهای مربوط به کنترل دما برابر ۳ درجه سانتی‌گراد و ماکزیمم مقدار آفست OFF برابر یک درجه سانتی‌گراد لحاظ شده است. در مورد فرایندهای کنترل رطوبت ۵ درصد برای ماکزیمم مقدار آفست ON و ۲ درصد ماکزیمم مقدار آفست OFF در نظر گرفته شده است. با این حال، برای دست یافتن به دقت زیاد می‌توان مقادیر پارامترهای کنترلی (آفست‌ها) را کوچک‌تر از این مقادیر نیز انتخاب کرد، ولی بنا به دلایلی که در بالا به آن اشاره شد چنین کاری را توصیه نمی‌کنیم. برای انجام سایر فرایندها نظیر تهویه، روشنایی و آبیاری، الگوریتم‌های برنامه یک روال زمان بندی شده یا تایمیری را مطابق با موارد تعریف شده در منوی تنظیمات برنامه به اجرا در می‌آورند [۱۴].

– طرز کار سیستم

به‌طور خلاصه، الگوریتم‌های کنترل و شبیه سازی دما و رطوبت داخل گلخانه با استفاده از رهیافت‌های فوق برای گلخانه مدل شناسایی شدند. میکروکنترلر، عمل‌کننده‌ها، و سنسورهای دما و رطوبت نسبی طراحی و درون گلخانه نصب شد. برای تأمین ولتاژ مرجع و اتصال بخش‌های مختلف

محتوی مخلوطی از آب مقطر و یخ خالص غوطه‌ور شدند. پس از رسیدن به حالت تعادل، دمای اندازه‌گیری شده توسط سنسورها قرائت شد. با مقایسه مقدار ثبت شده با مقدار دمای مخلوط آب و یخ (صفر درجه سانتی‌گراد) ضریب تصحیح برای هر یک از سنسورهای دما به دست آمد. این ضرایب در نرم افزار میکروکنترلر اعمال و میکروکنترلر مطابق با این تغییرات دو باره برنامه ریزی شد.

برای بررسی عملکرد و کارایی سیستم در زمینه مانیتورینگ و کنترل شرایط محیطی گلخانه، آزمایش‌های میدانی متعددی در آذرماه ۱۳۸۲ انجام گرفت. نتایج حاصل از یکی از آزمایش‌های میدانی که در صبح روز ۱۶ آذر بین ساعت ۱۰ و ۱۲ انجام گرفته است در شکل شماره ۸ نشان داده شده است. این آزمایش پس از نصب سیستم در داخل گلخانه مدل واقع در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گرفت. در این شکل، T_{mid} مربوط به دمای داخل گلخانه در ارتفاع رشد گیاه (یک متر از سطح زمین)، T_{up} مربوط به دمای داخل گلخانه در مجاورت پوشش سقف، T_{out} دمای محیط بیرون، و RH مربوط به رطوبت نسبی داخل گلخانه است. در این آزمایش ۸ گلدان گل روی سکوی ساخته شده قرار داده شدند (شکل شماره ۲).

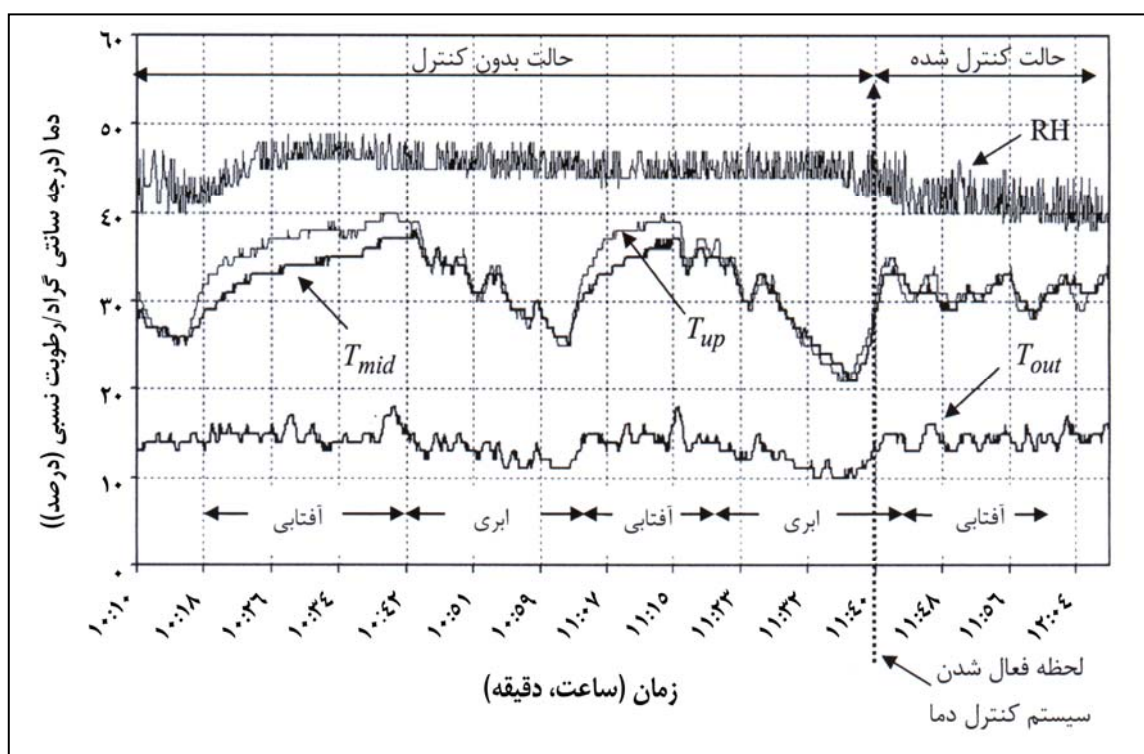
در انتهای آزمایش (از ساعات ۱۱:۴۰ تا ۱۲:۰۰) برای مقایسه نتایج حاصل از سیستم در وضعیت بدون کنترل با شرایط کنترل شده در یک فاصله زمانی ۲۰ دقیقه‌ای، سیستم در وضعیت کنترل خودکار قرار گرفت. نتایج به دست آمده از هر دو آزمایش در شکل شماره ۸ نشان داده شده است. منحنی‌های بخش انتهایی شکل شماره ۸، از محل رسم پیکان‌ها روی نمودار تا انتها، مربوط به وضعیتی است که سیستم در موقعیت کنترل خودکار قرار گرفته است. این دو آزمایش به ترتیب به منظور: (الف) بررسی عملکرد سنسورها، میکروکنترلر، و بخش مانیتورینگ سیستم (از ساعت ۱۰:۰۰ تا ۱۱:۴۰ صبح)، و (ب) بررسی کارایی سیستم در کنترل و تثبیت دمای داخل گلخانه (از ساعت ۱۱:۴۰ تا ۱۲:۰۰) صورت گرفته است. چنانکه در قسمت انتهایی شکل شماره ۸ مشاهده می‌شود، عملکرد سیستم در تثبیت دمای تقریباً ۳۰ درجه سانتی‌گراد (SP) به خوبی قابل مشاهده است. با بررسی دقیق‌تر شکل شماره ۸ این نتایج و تفسیرهای فیزیکی به دست می‌آید: در تمام مدت آزمایش همواره مقادیر مربوط به دمای محیط درون گلخانه، T_{mid} (در ارتفاع گیاه) و T_{up} (در مجاورت پوشش سقف)، بیشتر از دمای محیط بیرون T_{out} است. با توجه به رخداد پدیده "اثر گلخانه‌ای"، صحت نتایج حاصل را می‌توان به اثبات رساند. هرگاه انرژی تابشی خورشید پس از عبور از پوشش شفاف در محیط گلخانه محبوس شود، دمای محیط گلخانه به تدریج افزایش می‌یابد. بنابراین، همواره $T_{up}, T_{mid} > T_{out}$ است. در طول مدت زمان آزمایش سیستم در وضعیت بدون کنترل (از ساعت ۱۰ تا ۱۱:۴۰)، دمای داخل گلخانه (T_{up}, T_{mid}) به‌طور تناوبی تغییر کرده است. با توجه به آفتابی و ابری شدن متناوب هوا در هنگام آزمایش، این روند به خوبی قابل توجیه است. در هنگام آفتابی شدن هوا،

نتایج و بحث

برای بررسی عملکرد و کارایی سیستم در زمینه مانیتورینگ و کنترل شرایط محیطی گلخانه، آزمایش‌های میدانی متعددی در آذرماه ۱۳۸۲ انجام گرفت. نتایج حاصل از یکی از آزمایش‌های میدانی که در صبح روز ۱۶ آذر بین ساعت ۱۰ و ۱۲ انجام گرفته است در شکل شماره ۸ نشان داده شده است. این آزمایش پس از نصب سیستم در داخل گلخانه مدل واقع در پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران انجام گرفت. در این شکل، T_{mid} مربوط به دمای داخل گلخانه در ارتفاع رشد گیاه (یک متر از سطح زمین)، T_{up} مربوط به دمای داخل گلخانه در مجاورت پوشش سقف، T_{out} دمای محیط بیرون، و RH مربوط به رطوبت نسبی داخل گلخانه است. در این آزمایش ۸ گلدان گل روی سکوی ساخته شده قرار داده شدند (شکل شماره ۲).

در انتهای آزمایش (از ساعات ۱۱:۴۰ تا ۱۲:۰۰) برای مقایسه نتایج حاصل از سیستم در وضعیت بدون کنترل با شرایط کنترل شده در یک فاصله زمانی ۲۰ دقیقه‌ای، سیستم در وضعیت کنترل

دمای داخل گلخانه به سرعت بالا رفته تا جایی که به حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد نیز رسیده است. اما با قرار گرفتن خورشید در پشت ابر و کاهش شدید شدت نور به واسطه تبادل حرارتی سریع هوای درون با محیط بیرون، دمای درون گلخانه سریعاً کاهش یافته و در بعضی موارد تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد نیز افت کرده است. این روند تغییرات دما نسبت به تغییرات شدت نور خورشید در مورد دمای محیط بیرون از گلخانه نیز تا حدودی مشهود است، ولی دمای محیط بیرون کمتر تحت تأثیر قرار گرفته است. نکته دیگری که در مقایسه دماهای درون (T_{up} و T_{mid}) با بیرون (T_{out}) به وضوح مشاهده می‌شود این است که در جریان تغییرات دما، مقادیر ماکزیمم و مینیمم دماهای داخل گلخانه و محیط بیرون همفاز هستند.



شکل شماره ۸- نتایج حاصل از آزمایش میدانی سیستم - در صبح روز ۱۶ آذر ۱۳۸۲

همان‌گونه که در سمت راست شکل شماره ۸ مشاهده می‌شود، با آغاز به کار سیستم کنترلی (از ساعت ۱۱:۴۰ به بعد) دمای داخل گلخانه در محدوده نقطه تنظیم (۳۰ درجه سانتی‌گراد) تثبیت شده و نوسانات جوی خللی در کارکرد صحیح سیستم به وجود نیاورده است. این مطلب از کارایی بالای سیستم پیشنهادی حکایت دارد. عملکرد سیستم برای تثبیت دما بسیار مطلوب است و زمان سپری شده برای ثابت نگه داشتن دما در محدوده تنظیمی کوتاه (در حدود ۱۰ دقیقه)

ضمن طراحی و ساخت یک گلخانه مدل، به طراحی، پیاده سازی و ارزیابی یک سیستم کنترل و مانیتورینگ کامپیوتری برای آن اقدام شده است.

برای کنترل بهینه دما و رطوبت و نیز تثبیت دی اکسید کربن و آبیاری تجهیزات کنترلی مطابق با ابعاد و شرایط گلخانه، طراحی و ساخته شده است. این تجهیزات شامل هیتر الکتریکی چند مرحله ای، سیستم تهویه مکانیکی مجهز به سیستم توزیع هوای پلی تیوب، سیستم مه پاش و سیستم آبیاری قطره ای می باشد.

سیستم طراحی شده در شرایط پائیز مورد آزمایش قرار گرفت. برای این منظور شرایط محیطی (دما و رطوبت) گلخانه و محیط بیرون در دو حالت بدون کنترل و کنترل شده؛ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله را می توان در جهت توسعه و بهینه کردن سیستم متناسب با نیاز گلخانه های تجاری به کار گرفت.

است. چون مدت زمان این آزمایش کوتاه بوده است تغییرات رطوبت چندان محسوس نیست. تنها در شروع آزمایش تا رسیدن به حالت تعادل، رطوبت روندی افزایشی را طی کرده و سپس مقدار آن تقریباً ثابت مانده است؛ ولی با آغاز حالت کنترل شده، به دلیل فعال شدن سیستم گرمایشی و تهویه و جایگزینی هوای مرطوب داخل با هوای بیرون، رطوبت مجدداً سیری نزولی داشته است. نتایج سایر آزمایش ها که مربوط به کنترل رطوبت و نیز کنترل توام دما و رطوبت صورت گرفته اند در منابع شماره ۱۳ و ۱۴ موجود است.

نتیجه گیری

اتوماسیون گلخانه ها، امکان اعمال مدیریتی صحیح را در جهت افزایش عملکرد و کیفیت محصولات گلخانه ای فراهم می آورد. مهمترین بخش در اتوماسیون گلخانه، کنترل و مانیتورینگ دقیق شرایط محیطی آن می باشد. در این تحقیق،

قدردانی

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه تهران به شماره ۷۱۹/۳/۶۷۱ می باشد. بدینوسیله مجری طرح از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران که منابع مالی مورد نیاز طرح را تأمین نموده است کمال تشکر و سپاسگزاری را دارد.

مراجع

- 1- Abdi, H. and Khoshkish, H. 2003. A review of Control technologies used in Greenhouses. First Sci. Symp. on Survey of Structures and Automation of Greenhouses in Iran and Development Strategies, 2-3 June 2003, Mahallat: Iran, 53-57 (In Farsi).
- 2- Ameer, S., Laghrouche, M. and Adane, A. 2001. Monitoring a greenhouse using a microcontroller-based meteorological data-acquisition system. Renewable Energy. Vol. 24, 19-30.
- 3- Chalabi, Z. S., Bailey, B. J. and Wilkinson, D. J. 1996. A Real-Time Optimal Algorithm for Greenhouse heating. Computers and Electronics in Agriculture. Vol. 15, 1-13.
- 4- Cox, S. W. R. 1997. Measurement and Control in Agriculture. Blackwell Science Ltd.
- 5- Gates, R. S., Chao, K. and Sigrimis, N. 1999. Fuzzy control simulation of plant and animal environments. ASAE Annual Int. Meeting, Canada, Paper No. 993196.
- 6- Hoon Jae, S., Kyung Man, K., Kwang Hyun, K. and Weon Sik, H. 1995. A study on the automatic measurement and control system for greenhouse environment. RDA J. Agri. Sci. 37(2), 681-686.
- 7- Jackson, H. A., and Darby, D. E. 2000. Greenhouse Ventilation. Canada Plan Service. M-6704, 9 p.
- 8- Lipov, A. Yu. 1992. Intellectual real time control system for technological process in the greenhouse. Traktory-i-Sel'skokhozyaistvennyye-Mashiny: Russia, No. 10-12, 12-16.
- 9- Marhaenanto, B., and Singh, G. 2002. Development of a computer-based greenhouse environment controller. World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources. Brazil, 136-146.
- 10- Nelson, P.V. 2002. Greenhouse operation and management. 6th Edition, Prentice Hall, 704 P.
- 11- Omid, M. 2004. Computer Control of Greenhouse Environment: design and building of model. University of Tehran: Iran, Technical Report No. 719-3-671, 30 p. (In Farsi).
- 12- Seminar, K. B., Suhardiyanto, H., Tooy, D., Kozai, T. and Murase, H. 1998. Design and implementation of a computer-based control system for greenhouse in tropical regions. Proceedings 3rd IFAC-CIGR Workshop, Chiba: Japan, 43-48.
- 13- Shafaei, A. and Omid, M. 2005. A Computer-Based Control System for Greenhouse Environment: Part II - Design and Implementation of the System. J. Agri. Eng. Res., Vol. 6 (23), 21-39. (In Farsi- This Issue)

- 14- Shafaei, A. 2003. Computer control of greenhouse climate: Design and development of a prototype. MSc. Thesis, University of Tehran: Iran, 145 p. (In Farsi).
- 15- Sun, X. B. 1992. A study on the greenhouse environmental parameter classify control system by microcomputer. Trans. Chinese Soc. Agri. Eng., 8 (1), 72-77.
- 16- Wagner S. W., Forcella, F. and Voorhees, W. B. 1999. Converting an existing greenhouse control system from pneumatics to PC. ASAE/CSAE Annual Int. Meeting. Ontario: Canada. Paper No. 995013.

A Computer-Based Control System for Greenhouse Environment:

Part I - Design and Implementation of System

M. Omid and A. Shafaei

The present study is concerned with the design and implementation of a computer-based control and monitoring system for greenhouses. For conducting the field experiments a model greenhouse with a floor area of 8 m², (2×4 m) was constructed. It was covered with double inflated 200µm polyethylene films. Performance of the controller under different environmental conditions was evaluated by installing the system in the model greenhouse. Main components of the system are sensors, a microcontroller, a number of actuators, data processing unit, and data acquisition and recording device. The microcontroller receives data on greenhouse environmental conditions from a number of sensors installed inside as well as outside the greenhouse and transfers the data to and from a PC via RS 232 port. A graphical user interface was also developed to carry out the monitoring tasks. The program implements the control algorithms, comparing the received data with set points, sending control signals to the microcontroller so as to change the states in control devices, namely, heaters, fans, misters, etc., in order to attain the desired set points. To evaluate system performance, a set of experiments were carried out during autumn 2003, in the faculty of agriculture, Karaj. The overall performance of the system in controlling greenhouse air temperature was very satisfactory. The time constant to bring the temperature within the set points was about 10 minutes.

Key Words: Greenhouse, Control, Monitoring, Computer, Microcontroller, Temperature and Humidity Control