طراحی، ساخت و ارزیابی دستگاه مرکزی برای کنترل شرایط محیطی گلخانه

قاسم زارعی[1*] و آذرخش عزیزی[2]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۷/۱۳)

چکیده

در کشت گلخانه‌ای، ضمن افزایش کمی و کیفی محصول تولیدی در مقایسه با روش‌های سنتی، در مصرف نهاده‌های کشاورزی نیز صرفه‌جویی می‌شود. در سال‌های اخیر، با بهره‌گیری از روش‌ها، طرح‌ها و مواد جدید و افزایش سطح اتوماسیون در گلخانه‌ها، امکان مدیریت صحیح در جهت افزایش عملکرد و بهبود کیفیت محصول فراهم شده است. دستگاه کنترل مرکزی ساخته و ارزیابی شده در این تحقیق، یک سامانه کنترل مرکزی و پایش کامپیوتری برای گلخانه‌ها است. چندین حسگر، یک کنترل‌کننده مرکزی، چندین عمل‌کننده و یک سیستم جمع‌آوری و ثبت داده، اجزای اصلی این سیستم هستند. عمل‌کننده‌ها شامل سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی، مه‌پاش، تهویه و روشنایی گلخانه‌ای بوده و حسگرها شامل دما، رطوبت، گازکربنیک، اکسیژن و نور در داخل و خارج گلخانه هستند. با دریافت و ارسال اطلاعات محیطی توسط حسگرها، کنترل‌کننده‌ی مرکزی شرایط محیطی داخل گلخانه را در محدوده‌ی از قبل تعریف شده نگه می‌دارد. این دستگاه تماماً با لوازم و قطعات موجود در داخل کشور ساخته شده و قابلیت هماهنگ‌سازی بر اساس نیاز و سفارش کاربر را دارد. دستگاه کنترل مرکزی گلخانه، پس از طراحی و ساخت، در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان نصب و در فصل تابستان ۱۳۹۰ ارزیابی شد. کنترل دمای گلخانه در محدوده‌ی دمایی ۲۲-۲۹ درجه سلسیوس، کنترل رطوبت نسبی محیط در محدوده‌ی ۳۵-۵۵ درصد، به‌کار انداختن روشنایی تکمیلی گلخانه در شدت نور کمتر از ۸۰۰ لوکس و تهویه‌ی گلخانه در غلظت بیشتر از ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر گازکربنیک با موفقیت توسط دستگاه ساخته شده انجام گردید.

واژه‌های کلیدی: کنترل شرایط محیطی، اتوماسیون، حسگر

مقدمه

افزایش جمعیت و نیاز بیشتر انسان به غذا و همچنین وجود محدودیت در تأمین نهاده‌های اصلی کشاورزی مانند زمین و آب مناسب، باعث شده تا به روش‌های نوین و پربازده در زمینه‌ی تولید غذا توجه بیشتری شود. زیرا با توجه به محدودیت‌های منابع آب در ایران، افزایش سطح زیر کشت محصولات به‌منظور افزایش عملکرد، راه‌حل اصولی نیست. از جمله روش‌های قابل توجه در کشاورزی نوین، کشت گیاهان گلخانه‌ای است. در کشت گلخانه‌ای، علاوه بر افزایش کمی و کیفی محصولات تولیدی در مقایسه با روش‌های سنتی، در مصرف نهاده‌های کشاورزی نیز صرفه‌جویی می‌گردد. در سال‌های اخیر با بهره‌گیری از روش‌ها، طرح‌ها و مواد جدید و استفاده از سیستم‌های خودکار در گلخانه‌ها، امکان مدیریت صحیح در جهت افزایش کمّی و کیفی محصولات گلخانه‌ای فراهم شده است. همچنین، با بهره‌گیری از روش‌هایی نظیر کشت‌های بدون خاک و روش‌های نوین آبیاری، بهره‌وری نهاده‌های تولید و کارایی مصرف آب بهبود یافته است (۲).

دستگاه‌های کنترل مرکزی موجود در ایران عموماً وارداتی هستند و لذا قیمت تمام شدهٔ آنها بسیار زیاد بوده و چون نمایش اطلاعات و نحوهٔ وارد کردن دستورات به آنها به

۱. مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج

۲. بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ghzarei4554@yahoo.com

زبان انگلیسی است، کار با آنها برای گلخانه‌داران مشکل است و گاهی احتیاج به متخصصین خارجی برای نصب، راه‌اندازی و آموزش دارند. علاوه بر این، چون این دستگاه‌ها معمولاً براساس نیاز و به‌طور عمومی برای گلخانه‌های متداول کشورِ سازنده طراحی و ساخته شده‌اند، امکان تغییرکاربری و تطابق با شرایط اقلیمی مناطق مختلف کشور ما در آنها وجود ندارد. به همین دلیل، لازم است که سیستم‌ها و تجهیزات گلخانه‌ای با دستگاه کنترل مرکزی هماهنگ شود. با توجه به مشکلات مذکور، ضروری است سیستم‌هایی طراحی و توسعه داده شوند که در عین نوین و کارآ بودن، کم‌هزینه بوده و طراحی آنها با فناوری موجود در کشور هماهنگ باشد تا از این راه گامی در جهت پیشرفت و خودکفایی برداشته شود (۵).

اهداف کاربرد سیستم‌های کنترل و اتوماسیون در گلخانه‌های کشور عبارتند از: دستیابی به دانش فنی، بومی‌سازی فناوری وارداتی، افزایش بهره‌وری انرژی و نیروی کار، افزایش بازدهٔ مدیریتی، افزایش یکنواختی رشد گیاه و کیفیت محصول، کاهش مصرف آب، کاهش مصرف کودها و سموم شیمیایی، کاهش مصرف مواد تنظیم‌کنندهٔ رشد، کاهش استهلاک تجهیزات گلخانه‌ای و نیز کاهش ریسک تولید در گلخانه. صرف‌نظر از میزان تولید کشاورزان، اتوماسیون به‌طور اقتصادی می‌تواند آنها را در فرایند تولید یاری دهد. همچنین، با استفاده از سیستم‌های کنترلی هوشمند، نیاز به نیروی متخصص برای کنترل شرایط محیطی کمتر می‌شود. در حال حاضر این سیستم‌های رایانه‌ای از ضروری‌ترین اجزا برای گلخانه‌ها هستند (۳، ۱۱، ۱۴ و ۱۶). اتوماسیون گلخانه، امکان مدیریت صحیح در جهت افزایش عملکرد و کیفیت محصولات گلخانه‌ای را فراهم می‌آورد. کنترل مطلوب شرایط محیطی گلخانه فرایند دشواری است. شرایط محیطی گلخانه تحت تأثیر متغیرهای مختلف بیرونی و درونی، کاملاً ناپایدار بوده و به‌طور پیوسته تغییر می‌کند. کنترل بهینه‌ی این شرایط متغیر، فرایندی پیچیده و پرهزینه است. با این وجود، منافع حاصل از کنترل دقیق و بهینه‌ی گلخانه به‌مراتب بیشتر از هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری اولیه است. به‌نظر محققین، مهمترین بخش در اتوماسیون گلخانه، کنترل و پایش دقیق شرایط محیطی آن است (۴).

تحقیقات در مورد کنترل عوامل محیطی گلخانه، از اوایل دهه ۷۰ میلادی آغاز شد. در آن زمان، با استفاده از مکانیزم‌های آنالوگ، اطلاعات محیطی جمع‌آوری و نمایش داده می‌شدند و کنترل عوامل محیطی و تنظیم بهینه آنها توسط کاربر تعیین می‌گردید (۱۰، ۲۶ و ۲۷). امروزه، با پیشرفت سیستم‌های کامپیوتری و کاربرد کنترل‌کننده‌های کامپیوتری، کنترل شرایط محیطی گلخانه‌ها کاملاً تجاری شده و در سطوح مختلف، تولید و عرضه می‌شوند. در ایران نیز ضرورت توسعه طرح‌های جدید و مکانیزه برای افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید در بخش کشاورزی، به‌ویژه در گلخانه‌ها، احساس می‌شود. از این رو، در تعداد معدودی از گلخانه‌های کشور، کنترل‌گرهای خودکار ساخت خارج خریداری، نصب و بهره‌برداری شده‌اند (۱).

از نظر بوت (۷)، اجرای گلخانه‌های هوشمند به صحت مدل‌هایی که برای برنامه‌ریزی سیستم‌های کنترلی تعریف می‌شوند، وابسته است و باید این سیستم‌های کنترلی برای گلخانه‌هایی با اندازه و کاربردهای مختلف، هماهنگ شوند. به عقیده پول‌هایم و هیبنر (۱۸)، میزان تولید محصولات گلخانه‌ای تحت تأثیر عوامل محیطی نظیر دما، رطوبت و گازکربنیک داخل گلخانه قرار دارد و کنترل این عوامل می‌تواند باعث افزایش کیفیت و کمیت محصول گردد. آنها اظهار داشته‌اند که با کاربرد مدل‌های غیرخطی می‌توان توابعی برای کنترل این عوامل تعریف کرد و به‌کار بست. دایان و همکاران (۹) با کاربرد یک مدل ساده کنترلی توانستند با اندازه‌گیری دما و تنظیم رطوبت گلخانه، میزان تهویه آنرا تعیین کنند. ون استراتن و همکاران (۲۳) برای سیستم‌های کنترلی گلخانه‌ای، روابط بین پارامترها و عوامل محیطی گلخانه‌ها را به‌صورت ریاضی بیان کردند. امید و شفائی (۱) یک سیستم کنترل و پایش رایانه‌ای گلخانه‌ای طراحی و پیاده کردند. آنها برای اجرای الگوریتم کنترل و پایش اطلاعات، برنامه‌ای با استفاده از نرم‌افزار ویژوال بیسیک تهیه

کردند.

سان (۲۲) در مورد سیستم‌های کنترل کننده شرایط محیطی گلخانه تحقیق کرد. وی از سیستمی مبتنی بر میکروکنترلر، برای کنترل و پایش دمای هوا و خاک و نور گلخانه استفاده کرد. لیپوف (۱۵) یک سیستم کنترل رایانه‌ای هوشمند را با کاربرد زبان برنامه‌نویسی توربو برای کنترل شرایط محیطی گلخانه طراحی کرد که بر مبنای سیستم حلقه بسته برای کنترل و اندازه‌گیری پارامترهای مختلف، عمل می‌کرد. در این سیستم، دما، نور، رطوبت، CO_2، آب و کود، اندازه‌گیری و کنترل می‌شدند. شین و همکاران (۲۰) روی سیستم خودکار اندازه‌گیری و کنترل شرایط محیطی گلخانه مطالعه کردند. سیستم کنترلی آنها برای سنجش و تعدیل سه پارامتر دما، رطوبت و نور طراحی شد. چلبی و همکاران (۸) از یک الگوریتم زمان واقعی برای کنترل گرمایش یک گلخانه تجاری استفاده کردند. این سیستم به‌گونه‌ای بود که کمترین نیاز به دخالت کاربر در روند کنترل وجود داشت و کاربر تنها نقاط تنظیم را برای سیستم تعریف می‌کرد. سمینار و همکاران (۱۹) کنترل رایانه‌ای گلخانه‌های مناطق حاره‌ای را انجام دادند. آنها برای کنترل شرایط محیطی گلخانه از توابع کنترلی PID و منطق فازی استفاده کردند. واگنر و همکاران (۲۴) مطالعاتی را برای تبدیل سیستم‌های کنترل نیوماتیک متداول در گلخانه‌ها به انواع رایانه‌ای آنها با استفاده از یک کنترل‌گر فازی لاجیک، انجام دادند. گیتس و همکاران (۱۲) یک کنترل‌کننده فازی (FLC) را برای گلخانه طراحی و نتایج حاصل از شبیه‌سازی در محیط Matlab را با نتایج حاصل از کنترل‌کننده‌های سنتی با هم مقایسه کردند. آمور و همکاران (۶) پایش شرایط محیطی گلخانه را با استفاده از یک سیستم میکروکنترلری جمع‌آوری داده، انجام دادند. این سیستم برای نظارت بر پارامترهای دمای درون و بیرون گلخانه، رطوبت هوا و میزان تابش خورشید در گلخانه استفاده شد.

مرهانتو و سینگ (۱۷) یک سیستم قابل برنامه‌ریزی برای کنترل و پایش شرایط محیطی گلخانه طراحی و پیاده کردند. این سیستم کنترل برای تثبیت سه پارامتر دما، رطوبت نسبی و آبیاری گلخانه در حد مقادیر مطلوب و از پیش تعیین شده طراحی شد. سریرامان و مایورگا (۲۱) روی سیستم کنترل فازی شرایط محیطی گلخانه تحقیق کردند. طرح آنها دارای دو FLC بود که خروجی اولی به‌عنوان ورودی دومی عمل می‌کرد. آنها بین سیستم‌های کنترل سنتی با فازی از لحاظ معایب و مزایا، مقایسه‌ای انجام دادند. وانگ و دانستون (۲۵) با طراحی و ساخت نمونه‌ای از سیستم کنترل‌کننده فازی رطوبت و دما، این سیستم را در گلخانه ارزیابی کردند. گازمان- کروز و همکاران (۱۳) توانستند یک الگوریتم فازی را توسط دو میکروکنترلر AVR پیاده نمایند و پاسخ سیستم را با نرم‌افزار Matlab مقایسه کنند.

با توجه به ضرورت افزایش سطح اتوماسیون در صنعت گلخانه‌ای کشور به منظور افزایش بهره‌وری و کاهش مصرف نهاده‌ها و هزینه‌های تولید و نیز لزوم بومی‌سازی فناوری‌های خارجی موجود، در این تحقیق، دستگاه کنترل شرایط محیطی گلخانه‌ای طراحی، ساخته و ارزیابی شده است.

مواد و روش‌ها

شرح دستگاه

دستگاه کنترل مرکزی گلخانه یک سیستم نظارتی و کنترلی قابل برنامه‌ریزی و انعطاف‌پذیر است که با هزینه کم و استفاده از فناوری و قطعات موجود در کشور ساخته شده است. این دستگاه متشکل از دو بخش اصلی کنترل مرکزی و حسگرها و یک بخش فرعی کنتاکتور است. پس از بررسی وضعیت گلخانه‌های کشور و براساس مشاوره با متخصصین و بررسی منابع، متغیرهای محیطی شامل دما، رطوبت، نور و دی‌اکسید کربن که در کشت گلخانه‌ای مؤثر هستند، انتخاب شدند. سپس حسگرهایی که برای سنجش این عوامل محیطی در داخل کشور موجود بودند شناسایی و بهترین آنها انتخاب گردیدند. این انتخاب براساس دقت، عمر مفید، قیمت و ویژگی‌های فنی آنها صورت گرفت و در نهایت حسگرهایی انتخاب شدند که عموماً

شکل ۱. نمای کلی و اجزای دستگاه کنترل مرکزی شرایط محیطی گلخانه‌ای

شکل ۲. صفحه اصلی دستگاه کنترل مرکزی

از جدیدترین و دقیق‌ترین نوع موجود در بازار بودند.

سپس، قطعات الکترونیکی و دیجیتال مدار دستگاه تهیه و نمونه آزمایشی ساخته شد و با توجه به عملکرد مورد انتظار سیستم، روش‌های ارتباط با حسگرها و نحوه راه‌اندازی تجهیزات گلخانه‌ای، برنامه دستگاه کنترل مرکزی نگارش و روی میکروکنترلر برنامه‌ریزی شد. آنگاه دستگاه از لحاظ کارکرد مورد آزمایش اولیه قرار گرفت. پس از اطمینان از صحت کارکرد مدار و کارآیی دستگاه، نقشه شماتیک مدار آن طراحی و با استفاده از امکانات موجود در آزمایشگاه ابزار دقیق بخش فنی و مهندسی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان، مدار چاپی آن تهیه و قطعات مربوطه روی آن مونتاژ شد. سپس، این مجموعه داخل جعبه مخصوص نصب گردید. شکل ۱ نمای کلی و اجزای دستگاه کنترل مرکزی ساخته شده را نشان می‌دهد.

روش کار دستگاه ساخته شده بدین صورت است که متغیرهای عمده در گلخانه که شامل دما، رطوبت، نور و گازهای دی‌اکسید کربن و اکسیژن هستند، توسط حسگرهای مربوطه اندازه‌گیری و به کنترل کننده مرکزی منتقل می‌شوند. کنترل کننده مرکزی پس از دریافت این اطلاعات، میزان تغییرات مورد نیاز سیستم و کاربر را محاسبه و فرمان‌های لازم را برای تغییر وضعیت عمل‌کننده‌ها (سیستم‌های سرمایشی، گرمایشی، رطوبت‌ساز، روشنایی و تهویه) ارسال می‌کند تا متغیر مورد نظر تا حد مطلوب تعدیل یابد. همچنین، این دستگاه علاوه بر کنترل شرایط محیطی در گلخانه، قادر به نمایش وضعیت گلخانه و اطلاعات ورودی و خروجی روی نمایشگر خود و نیز ثبت اطلاعات روی حافظه قابل‌حمل و انتقال اطلاعات به رایانه است. شکل ۲ صفحه اصلی نمایشگر دستگاه را نشان می‌دهد.

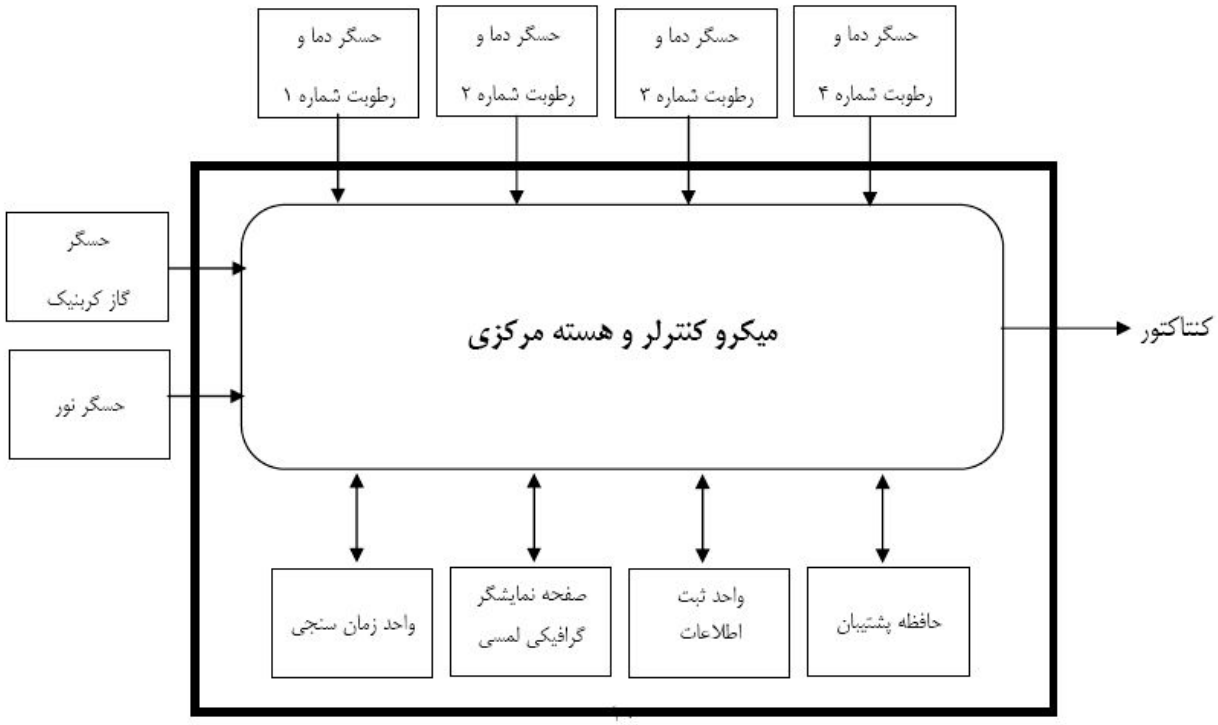
اجزای دستگاه

دستگاه کنترلر مرکزی مورد نظر در این تحقیق از اجزا و قطعات الکترونیکی مختلفی به منظور نیل به اهداف ساخت دستگاه تشکیل شده است. همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، دستگاه کنترل مرکزی گلخانه شامل دو بخش اصلی، یکی کنترل مرکزی و دیگری تعدادی حسگر است. نحوه‌ی اتصال اجزای سخت افزاری به صورت بلوک دیاگرامی در شکل ۳ آورده شده است.

بخش کنترل مرکزی

میکروکنترلر (هسته مرکزی دستگاه)

این قسمت دستگاه در واقع بخش اصلی سیستم کنترلر بوده و از یک میکروکنترلر ATmega128 ساخت شرکت Atmel تشکیل شده است. با بهره‌گیری از این میکروکنترلر، امکان برنامه‌نویسی پیشرفته و افزایش تعداد حسگرها فراهم گردیده است. این میکروکنترلر دارای ۴ کیلوبایت حافظه Eeprom است



شکل ۳. بلوک دیاگرام نحوه اتصال اجزای سخت‌افزاری دستگاه کنترل مرکزی گلخانه

که قابلیت ذخیره‌سازی اطلاعاتی که توسط کاربر به دستگاه وارد می‌شود را دارد و در صورت قطع برق و خاموشی دستگاه، این اطلاعات پاک نشده و برای استفاده‌های بعدی قابل دسترس است. همچنین، می‌توان تنظیمات مختلفی برای گیاهان متفاوت روی این حافظه ذخیره نمود.

صفحه نمایش لمسی

صفحه نمایش به‌کار رفته در این دستگاه، یک ال‌سی‌دی (LCD) گرافیکی بزرگ ۱۲۸×۲۴۰ نقطه‌ای آبی رنگ است که امکان نمایش متغیرهای اندازه‌گیری شده، نتایج حاصل از پردازش، فهرست‌ها، تنظیمات و نمودارها را فراهم می‌کند. به‌دلیل استفاده از این LCD گرافیکی، امکان فارسی‌نویسی و استفاده از تصاویر گرافیکی در این دستگاه وجود دارد. با وجود یک صفحه لمسی که روی LCD تعبیه شده است، دیگر نیازی به صفحه کلید نبوده و از این طریق می‌توان به فهرست‌های دستگاه دسترسی پیدا کرده، گزینه‌های مختلف را انتخاب و اعداد دلخواه را وارد دستگاه نمود.

واحد ثبت اطلاعات

این قسمت، کار ثبت اطلاعات جمع‌آوری شده از حسگرها و نتایج خروجی روی حافظه‌های قابل‌حمل را بر عهده دارد. اکثر دستگاه‌های موجود در بازار یا قابلیت اتصال به رایانه را نداشته و یا در صورت دارا بودن قابلیت اتصال، با کابل‌های رابط به رایانه متصل می‌گردند و اطلاعات دستگاه از این طریق به رایانه منتقل می‌شود. این روش ارتباطی با مشکلاتی همراه است زیرا ممکن است امکان جابجایی دستگاه کنترل‌کننده برای اتصال به رایانه در محلی غیر از گلخانه وجود نداشته باشد و یا رایانه‌ای در گلخانه برای انتقال اطلاعات موجود نباشد. به همین دلیل، استفاده از حافظه‌های قابل حمل (SD و MMC) برای جابجایی اطلاعات باعث سهولت در این خصوص می‌گردد. با این حال، در صورت درخواست کاربر، امکان اضافه کردن مدارات واسطه سریالی (RS232)، USB و یا بی‌سیم به دستگاه کنترل مرکزی

برای برقراری ارتباط با رایانه وجود دارد.

مدار حافظه پشتیبان

در این دستگاه از یک حافظه Eeprom به‌عنوان حافظه پشتیبان استفاده شده است. گاهی ممکن است حافظه‌های قابل حمل (MMC/SD/Flash Memory) در دسترس نبوده و لازم شود که اطلاعات به صورت روزانه ذخیره گردند. با استفاده از حافظه پشتیبان می‌توان داده‌ها را ذخیره کرد و در صورت لزوم آنها را روی حافظه‌های قابل حمل منتقل نمود.

حسگرها

حسگرهای استفاده شده در ساخت این دستگاه، از دقیق‌ترین حسگرهای موجود در بازار بودند و به‌دلیل این که خروجی آنها به‌صورت دیجیتال بود (غیراز حسگر گازکربنیک)، نیاز به واسنجی نداشتند. همچنین، به‌دلیل این که داده‌های ارسالی از این حسگرها تحت تأثیر سایر قطعات الکترونیکی به‌کار رفته در مدار دستگاه قرار نمی‌گیرند، مقدار واقعی اندازه‌گیری شده به پردازنده مرکزی ارسال می‌گردد. این حسگرها محصول کارخانه‌های معتبر بوده به‌طوری که قطعات تولیدی آنها در ساخت دستگاه‌های دقیق استفاده می‌شوند و لذا اطلاعات حاصل از اندازه‌گیری این حسگرها قابل اعتماد است. با این حال، قبل از استفاده از حسگرها در گلخانه، اعداد حاصل از حسگرهای دما، رطوبت و نور به ترتیب با دماسنج، رطوبت‌سنج و دستگاه نورسنج (لوکس‌متر) واسنجی شدند. تنها حسگر گازکربنیک به‌صورت آنالوگ عمل می‌کند و چون دستگاه سنجش گازکربنیک در دسترس نبود، حد پایین محدوده حسگر در محیطی بدون گازکربنیک (محفظه پر شده با گاز متان) و حد بالای آن در محیطی با ۱۰۰٪ گازکربنیک (محفظه پر شده از این گاز) واسنجی شد.

حسگر دما و رطوبت

برای اندازه‌گیری دما و رطوبت از حسگر SHT75 (ساخت کارخانه Sensirion کشور سوئیس) استفاده شد. این حسگر یکی از پیشرفته‌ترین حسگرهای موجود در بازار است که دما و رطوبت محیط را با دقت زیادی اندازه‌گیری می‌کند و احتیاج به واسنجی ندارد. خروجی این سنسور به‌صورت دیجیتال است که از نوع آنالوگ آن بسیار دقیق‌تر و قابل اعتمادتر است. در این تحقیق، سه عدد حسگر در داخل گلخانه و یک عدد در خارج گلخانه نصب گردید. در کل، این دستگاه قابلیت اتصال به چهار عدد حسگر دما و رطوبت را داراست ولی برحسب نیاز می‌توان با تغییر در نرم‌افزار دستگاه، از تعداد بیشتری حسگر دما و رطوبت استفاده کرد. همچنین، با توجه به نرم‌افزار طراحی شده در دستگاه کنترل مرکزی، در صورت عدم اتصال حسگرها به دستگاه، اختلالی در کار دستگاه به‌وجود نخواهد آمد و فقط همان قسمت مربوط به آن حسگر عمل نخواهد کرد.

حسگر نور

حسگر نور استفاده شده در این دستگاه، حسگر TLS2550 (ساخت کارخانه Taos کشور آمریکا) است که در داخل گلخانه نصب می‌گردد. این حسگر، شدت نور را در طول موج‌های مرئی (380-780 *nm*) و مادون قرمز (780-3000 *nm*) با دقت زیادی برحسب لوکس اندازه‌گیری می‌کند و نیاز به واسنجی ندارد. همچنین، خروجی این حسگر به‌صورت دیجیتال است. دامنه‌ی حساسیت به نور این حسگر بین صفر تا حدود ۷۰۰۰ لوکس بوده و چون هدف، واکنش دستگاه کنترل مرکزی به کمبود نور است، این دامنه حساسیت کافی به نظر می‌رسد. همچنین، با توجه به بهره‌گیری از دو فوتو دیود، یکی در نور مرئی و دیگری در مادون قرمز، با این حسگر می‌توان نسبت نور مرئی به نور مادون قرمز را نیز محاسبه کرد.

حسگر گازکربنیک

حسگر به‌کار رفته برای سنجش گازکربنیک در این دستگاه، از نوع TGS4161 (ساخت کارخانه Figaro کشور آمریکا) است که در محدوده‌ی غلظت ۳۵۰ تا ۱۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر، مقدار

گازکربنیک هوا را اندازه‌گیری می‌کند. خروجی این حسگر به‌صورت آنالوگ بوده و با استفاده از تقویت کننده‌های مقدماتی، به مدار اصلی متصل می‌گردد.

دستگاه کنتاکتور

به دلیل این که مشخصات الکتریکی و توان مصرفی سیستم‌ها و تجهیزات گرمایشی، سرمایشی، تولید رطوبت و نور نصب شده در گلخانه‌ها یکسان نبوده و هر کدام از آنها دارای قدرت‌های متفاوتی هستند، لازم است مدار روشن و خاموش کردن این سیستم‌ها (کنتاکتور) براساس دستگاه‌ها و با توجه به توان مصرفی (آمپراژ) آنها طراحی گردد. همچنین، بهتر است دستگاه فرمان یا کنتاکتور خارج از دستگاه کنترل مرکزی بوده و از طریق کابل رابط به یکدیگر متصل گردند. در این حالت، می‌توان دستگاه‌های کنترل مرکزی یکسانی ساخت. اما دستگاه کنتاکتور براساس نیاز هر یک از گلخانه‌ها ساخته شود.

تجهیزات قابل کنترل

سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی

برای گرمایش گلخانه‌ها با دستگاه کنترلر ساخته شده، می‌توان از بخاری‌های موضعی و یا سیستم آب‌گرم مرکزی استفاده کرد. همچنین، برای سرمایش گلخانه‌ها می‌توان از سیستم‌های تبخیری آب (پد و فن و یا مه‌پاش و فن) استفاده نمود. در صورت امکان، با توجه به شرایط اقلیمی، برای کاهش دما می‌توان از سیستم مه‌پاش همزمان با فرایند تهویه استفاده کرد و با توجه به حسگرهای دمای نصب شده در داخل و خارج گلخانه، می‌توان در صورت نیاز با روشن و خاموش کردن سیستم تهویه، دمای گلخانه را به حد مطلوب رساند. دستگاه ساخته شده دارای دو خروجی، یکی برای سیستم گرمایشی و دیگری برای سیستم سرمایشی، است که با اتصال آن به دستگاه کنتاکتور، می‌توان به دلخواه سیستم‌های گرمایشی یا سرمایشی را روشن یا خاموش نمود. دستگاه کنتاکتور مورد نظر، با توجه به امکانات موجود در گلخانه و برحسب نیاز ساخته شده است اما می‌توان براساس سفارش کاربر و نحوه تأمین انرژی مورد نیاز (استفاده از برق، گاز و یا گازوئیل) تغییراتی در دستگاه کنتاکتور داد.

کاربر با استفاده از فهرست‌های به‌کار گرفته شده در دستگاه کنترل مرکزی، می‌تواند نحوه‌ی به‌کارگیری سیستم کنترلی، دما را براساس سیستم گرمایشی، سرمایشی و یا استفاده از سیستم تهویه، انتخاب کند. همچنین، با انتخاب سیستم سرمایشی یا گرمایشی، کاربر حدود مجاز تغییرات دما را تعیین می‌کند تا با گذار از این محدوده‌ی مجاز، سیستم‌های گرمایشی یا سرمایشی روشن یا خاموش شوند. به‌علت شرایط اقلیمی منطقه و زمان تست دستگاه کنترلر ساخته شده، دمای کمتر از حد مجاز در گلخانه رخ نداد تا عملکرد سیستم گرمایشی نصب شده در آن کنترل گردد. لیکن، برای کاهش دما و سرمایش گلخانه از دو دستگاه کولر گازی پرقدرت استفاده شد.

سیستم تأمین رطوبت

برای فرایند افزایش رطوبت، می‌توان از سیستم مه‌پاش و یا تبخیر آب استفاده نمود. با استفاده از فهرستِ تنظیماتِ مربوط به سیستم تأمین رطوبت دستگاه کنترل مرکزی، کاربر می‌تواند عملگر مربوط به سیستم تأمین رطوبت را فعال یا غیرفعال کرده و نیز درصد رطوبت دلخواه محیط را برای روشن کردن سیستم تأمین رطوبت تعیین کند. دستگاه کنترل مرکزی دارای یک خروجی مربوط به سیستم تأمین رطوبت است که به کنتاکتور متصل می‌شود و از طریق آن، سیستم تأمین رطوبت را روشن و خاموش می‌کند. همچنین، در صورت مناسب بودن شرایط اقلیمی، می‌توان به منظور فرایند خنک‌کنندگی، از سیستم تأمین رطوبت و فرایند تهویه به‌طور همزمان استفاده نمود. گلخانه تحقیقاتی که دستگاه کنترل مرکزی در آن نصب و ارزیابی شد، هم دارای دستگاه رطوبت‌ساز و هم کولر آبی بود. به‌دلیل این که کولر آبی دارای پروانه‌ای برای تولید باد بوده و یکنواختی پخش رطوبت در آن بیشتر است، در این تحقیق از آن به عنوان منبع تأمین رطوبت استفاده شد.

سیستم تهویه

دستگاه کنترل مرکزی ساخته شده دارای یک خروجی مربوط به سیستم تهویه است که با اتصال به کنتاکتور می‌تواند سیستم تهویه را روشن و خاموش نماید. گلخانه مورد استفاده در این طرح دارای یک الکتروموتور پرقدرت (فن) در یکی از دیواره‌های آن بود که از آن به عنوان سیستم تهویه استفاده شد.

سیستم کنترل گازکربنیک

در صورت تغییر در میزان گازکربنیک موجود در داخل گلخانه، سیستم تهویه می‌تواند فعال گردد تا غلظت گازکربنیک موجود در هوای گلخانه به حد مطلوبی که کاربر مشخص می‌کند، برسد. برای این کار می‌توان با استفاده از فهرست مربوط به سیستم کنترل گازکربنیک دستگاه کنترل مرکزی، عملگر مربوطه را فعال یا غیرفعال کرده و غلظت مجاز این گاز در محیط را برای روشن کردن سیستم تهویه تعیین کرد.

سیستم کنترل نور

در خصوص نور مورد نیاز، در صورت امکان می‌توان با نصب تجهیزات خاص (مانند پوشش‌های متحرک نصب شده رو و یا زیر سقف گلخانه به عنوان سایه‌بان) و یا یک سیستم تولید نور مصنوعی، میزان نور گلخانه را کنترل نمود. دستگاه کنترل مرکزی گلخانه می‌تواند با توجه به امکانات نصب شده در گلخانه، این تجهیزات را راه‌اندازی و کنترل نماید تا شرایط مطلوب از نظر ایجاد شدت روشنایی مورد نیاز تأمین شود. در گلخانه تحقیقاتی مورد استفاده در این تحقیق، پنج ردیف هفت‌تایی لامپ‌های کم مصرف به‌عنوان سیستم روشنائی به‌کار رفته بودند که امکان روشن و خاموش کردن آنها با این سیستم فراهم گردید.

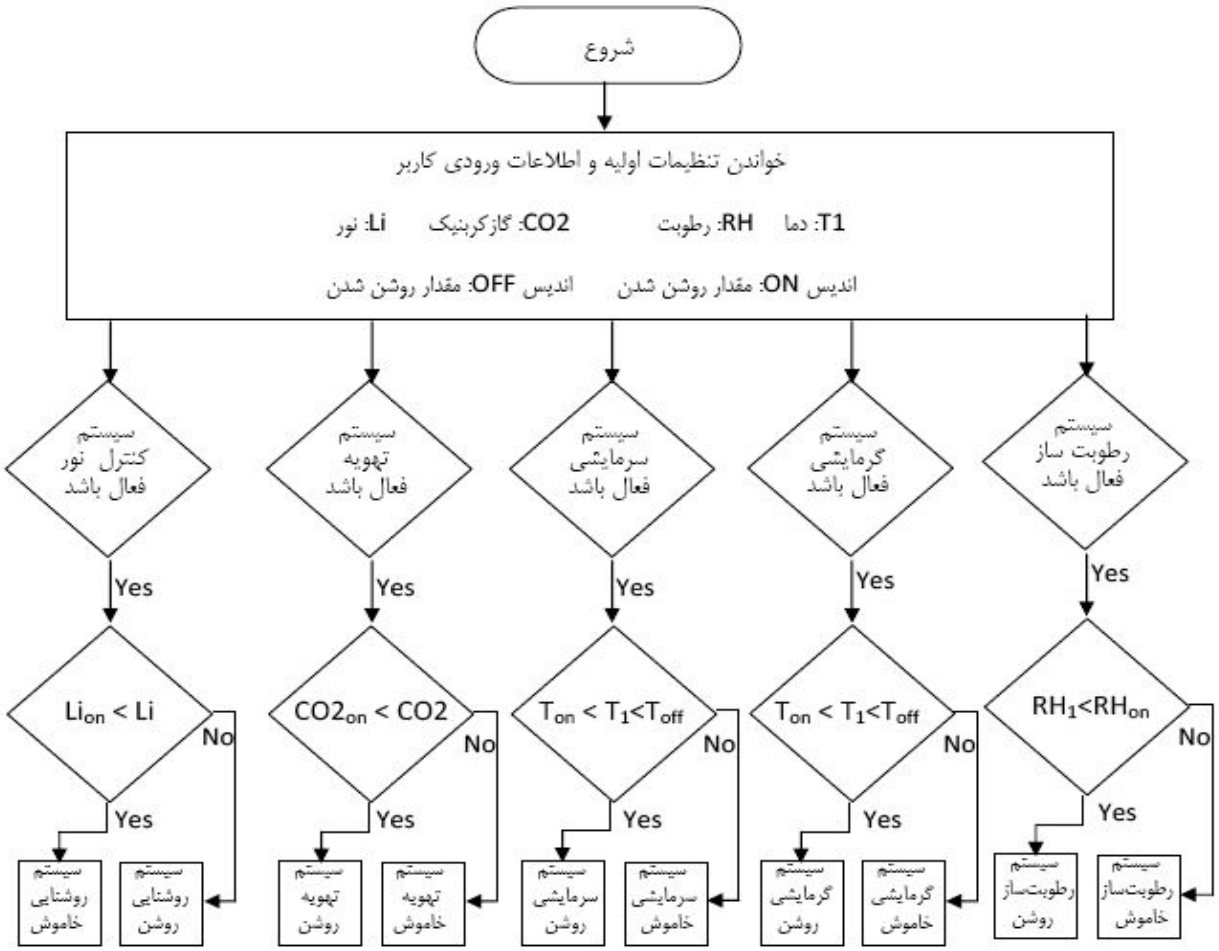
الگوریتم‌های مورد استفاده

در این سامانه از مدل‌های ساده شده برای کنترل شرایط محیطی بهره‌گرفته شد. این مدل‌ها به‌صورت دیجیتال، سیستم‌های سرمایشی، گرمایشی، نور و تهویه را تا رسیدن شرایط محیطی به مقادیر دلخواه که توسط کاربر تعیین می‌شود، روشن و خاموش می‌کنند. همچنین، اغلب سیستم‌های موجود در گلخانه نظیر گرم کننده‌ها، سرد کننده‌ها، فن‌های تهویه و لامپ‌های روشنائی، توان خروجی قابل تنظیم در مقادیر مختلف را نداشته و بیشتر به‌صورت روشن/ خاموش هستند و نیز روشن و خاموش شدن‌های مکرر امکان آسیب‌رساندن به آنها را دارد. به همین دلیل، از روش‌های کنترلی فازی و PID استفاده نشده است. الگوریتم کنترلی ساده شده‌ی دستگاه کنترل مرکزی ساخته شده، در شکل ۴ ارائه گردیده است. کارکرد الگوریتم پیشنهادی به این صورت است که با مقایسه و سنجش لحظه‌ای داده‌های واصله از حسگرهای مربوط به دما، رطوبت و نور برحسب مورد، فرامین کنترلی مناسب را تعیین و به کنتاکتور ارسال می‌دارد تا تجهیزات کنترلی گلخانه در راستای تأمین و یا تعدیل شرایط محیطی شروع به کار کرده و یا از کار متوقف شوند. نحوه‌ی عملکرد دستگاه کنترل مرکزی برای کنترل شرایط محیطی به شرح زیر است:

سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و رطوبت ساز

اطلاعات دمای محیط داخل و خارج گلخانه مربوط به چهار حسگر متصل به دستگاه، به کنترل‌مرکزی ارسال و روی صفحه LCD نمایش داده می‌شود. کاربر با استفاده از فهرست دستگاه تعیین می‌کند که دستگاه کنترل مرکزی نسبت به تغییرات دمایی فعال بوده و واکنش نشان دهد یا فقط صرفاً اطلاعات رسیده را نمایش دهد. همچنین، حد پایین دمای مطلوب که با کمتر شدن دمای محیط از آن مقدار، کنترل‌مرکزی سیستم گرمایشی را روشن کرده و حد بالای دمای مطلوب که با بیشتر شدن دمای محیط از آن مقدار، کنترل‌مرکزی سیستم گرمایشی را خاموش کند، وارد دستگاه می‌کند.

الگوریتم‌های کنترلی پیاده شده در برنامه میکروکنترلر به این صورت عمل می‌کند که با مقایسه دمای دریافت شده از حسگر



شکل ۴. فلوچارت ساده شده‌ی الگوریتم فرایند کنترل شرایط محیطی گلخانه

شماره یک و مقایسه و سنجش با حد مطلوبی که توسط کاربر وارد دستگاه شده (در صورت انتخاب حالت واکنش به تغییرات دما برای سیستم گرمایشی) برحسب مورد فرمان کنترلی مناسب را از طریق کابل رابط به دستگاه کنتاکتور ارسال کرده و کنتاکتور سیستم گرمایشی را روشن یا خاموش می‌کند تا دمای محیط گلخانه به حد مطلوب برسد. به‌دلیل این‌که دستگاه کنترل‌مرکزی براساس اطلاعات دریافتی از حسگر شماره یک عمل می‌کند، لازم است که این حسگر در محل مناسبی که دمای آن معرف بهترین حالت ممکن برای کنترل شرایط محیطی است، نصب گردد. در صورت لزوم، با تغییر نرم‌افزار پیاده شده در میکروکنترلر، می‌توان تعیین کرد که عملکرد دستگاه کنترل مرکزی براساس میانگین سه حسگر نصب شده در نقاط مختلف گلخانه باشد. همچنین، اطلاعات دریافت شده از حسگر دما و رطوبت خارجِ گلخانه مورد پردازش قرار نگرفته و صرفاً نمایش داده شده و ثبت می‌گردند. لیکن در صورتی که شرایط استفاده از فن برای خنک‌کنندگی مهیا باشد، می‌توان با تغییر در نرم‌افزار دستگاه کنترل مرکزی و با مقایسه دمای خارج و داخل گلخانه، در مورد به‌کار اندازی سیستم تهویه برای خنک کنندگی تصمیم‌گیری نمود.

می‌توان در نرم‌افزار مربوطه، زمان تأخیری برای سیستم‌های کنترلی تعیین کرد تا از روشن و خاموش کردن متوالی و سریع سیستم‌های کنترلی جلوگیری کرده و عمر مفید آنها را افزایش داد. اما استفاده از این حالت نوسانات دمای مطلوب را افزایش خواهد داد. استفاده از این حالت فقط برای دستگاه‌هایی که به

روشن و خاموش شدن‌های پیاپی حساس هستند و از محافظ‌های الکترونیکی استفاده نمی‌کنند، توصیه می‌شود.

طرز کار و نحوه وارد کردن حد بالا و حد پایین دمای مطلوب برای کنترل تجهیزات سیستم سرمایشی، همانند سیستم گرمایشی است. همچنین، شیوه کار و نحوه وارد کردن حد بالا و پایین درصد رطوبت مطلوب برای کنترل تجهیزات سیستم تأمین رطوبت، همانند سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی است.

سیستم تهویه

از سیستم تهویه برای کاهش میزان گازکربنیک موجود در محیط گلخانه استفاده شده است. اطلاعات میزان گازکربنیک محیط داخل گلخانه از طریق حسگر گازکربنیک به کنترل‌مرکزی ارسال و روی صفحه LCD نمایش داده می‌شود. کاربر با استفاده از فهرست دستگاه، تعیین می‌کند که دستگاه کنترل‌مرکزی نسبت به تغییرات گازکربنیک فعال بوده و واکنش نشان دهد یا فقط صرفاً اطلاعات رسیده را نمایش دهد. همچنین، حد مطلوب گازکربنیک که با بیشتر شدن میزان آن در محیط، کنترل‌مرکزی سیستم تهویه را روشن خواهد کرد، وارد دستگاه می‌کند. الگوریتم‌های کنترلی پیاده شده در برنامه میکروکنترلر به این صورت عمل می‌کند که با مقایسه میزان گازکربنیک دریافت شده از حسگر مربوطه و مقایسه و سنجش با حد مطلوبی که توسط کاربر وارد دستگاه شده (در صورت انتخاب حالت واکنش به تغییرات گازکربنیک) برحسب مورد، فرمان کنترلی مناسب را از طریق کابل رابط به دستگاه کنتاکتور ارسال کرده و کنتاکتور سیستم تهویه را خاموش یا روشن می‌کند تا میزان گازکربنیک محیط گلخانه به حد مطلوب برسد.

در صورت نیاز، می‌توان با تغییر در نرم‌افزار پیاده شده روی میکروکنترلر و در صورت مناسب بودن شرایط اقلیمی، با روشن کردن سیستم تهویه نسبت به کنترل دمای محیط گلخانه اقدام کرد.

سیستم روشنایی

اطلاعات شدت نور محیط داخل گلخانه از طریق حسگر نور به کنترل مرکزی ارسال و روی صفحه LCD نمایش داده می‌شود. کاربر با استفاده از فهرست دستگاه، تعیین می‌کند که دستگاه کنترل‌مرکزی نسبت به تغییرات نور فعال بوده و واکنش نشان دهد یا فقط صرفاً اطلاعات رسیده را نمایش دهد. همچنین، طول روز و یا به عبارتی ساعات روشنایی مطلوب برای رشد گیاه و نیز حداقل روشنایی مورد نیاز بر حسب لوکس وارد دستگاه می‌شود. الگوریتم‌های کنترلی پیاده شده در برنامه میکروکنترلر به این صورت عمل می‌کنند که چنانچه در مدت زمانی که کاربر تعیین کرده (ساعات روشنایی)، میزان نور از حد مطلوب کمتر شود، فرمان کنترلی مناسب از طریق کابل رابط به دستگاه کنتاکتور ارسال شده و کنتاکتور سیستم روشنایی را روشن می‌کند. معمولاً به‌غیر از اثر تغییر طول روز در به گُل رفتن گیاهان، کاربرد سیستم روشنایی در سایر موارد مقرون به صرفه نیست.

نصب و راه اندازی دستگاه

دستگاه کنترل مرکزی گلخانه‌ای پس از طراحی و ساخت، در گلخانه مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان نصب و در فصل تابستان سال ۱۳۹۰ (در طول خرداد و تیر ماه) ارزیابی شد. مساحت این گلخانه شیشه‌ای ۱۴۰ متر مربع (۱۴ متر طول، ۱۰ متر عرض و ۴ متر ارتفاع) بود. دستگاه در حین کنترل تجهیزات مختلف در گلخانه، اطلاعات به‌دست آمده را در حافظه برای استفاده در رایانه ذخیره می‌کرد. این اطلاعات شامل تاریخ (روز، ماه و سال میلادی)، زمان (ساعت، دقیقه و ثانیه)، داده‌های دما و رطوبت مربوط به چهار حسگر دما و رطوبت داخل و خارج گلخانه، شدت روشنایی محیط داخلی گلخانه، نسبت نور مرئی به نور مادون قرمز، غلظت گازکربنیک موجود در هوای گلخانه و وضعیت سیستم‌های کنترلی (گرمایشی، سرمایشی، رطوبت‌ساز، روشنایی و تهویه) بود. فاصله زمانی بین ذخیره اطلاعات، چهار دقیقه انتخاب و اعمال شد.

نتایج و بحث

هدف اصلی از انجام این تحقیق، ساخت دستگاه کنترل کننده شرایط محیطی گلخانه با توجه به امکانات موجود در کشور، رفع وابستگی به تجهیزات خارجی، جلوگیری از خروج ارز، ایجاد سهولت برای کاربران ایرانی و عدم نیاز به متخصصین خارجی بوده و لذا ارزیابی، بررسی و مقایسه مدل‌ها و روابط موجود، در این طرح انجام نشده است. به همین دلیل، بررسی کارآیی دستگاه ساخته شده از نظر پایداری تنظیمات، کارکرد حسگرها و قطعات الکترونیکی و کنترل عملکرد سیستم‌های موجود برای پایداری شرایط محیطی در محدودهٔ مورد نظر کاربر در گلخانه، کافی به‌نظر می‌رسد.

عوامل محیطی مانند نور، دما، رطوبت نسبی و گازکربنیک در گلخانه‌ها بر یکدیگر اثرگذارند و ممکن است تغییر در شرایط و مقدار یکی بر عوامل دیگر تأثیرگذار باشد. به طور مثال، با افزایش شدت نور، فتوسنتز افزایش یافته و موجب مصرف و در نتیجه کاهش میزان گازکربنیک در گلخانه می‌گردد. الگوریتم‌های به‌کار رفته در این دستگاه کنترل مرکزی به‌طور مستقل عمل کرده و لذا اثر متقابل عوامل محیطی روی یکدیگر نادیده گرفته شده است. لازم به ذکر است که بررسی این اثرهای متقابل نیاز به مطالعات فراوانی دارد و هدف اصلی ساخت این دستگاه نبوده است. همچنین، گرچه الگوریتم‌های به‌کار گرفته شده مستقلاً عمل می‌کنند، اما چون کنترل کننده‌های شرایط محیطی همزمان فعال هستند، برهمکنش این عوامل روی عملکرد نهایی دستگاه تأثیر نامطلوب چندانی ندارد. با این حال، به‌دلیل این که میکروکنترلر استفاده شده قابلیت برنامه‌نویسی گسترده‌ای دارد، می‌توان پس از توصیف و تحلیل اثر متقابل شرایط محیطی، الگوریتم‌های به‌کار گرفته شده را اصلاح و سیستم پیشنهاد شده را توسعه داد.

پس از راه‌اندازی دستگاه کنترل مرکزی گلخانه، اطلاعات خروجی حاصل از کارکرد دستگاه به رایانه منتقل شده و نمودارهای مورد نظر برای ارزیابی رسم گردیدند. کلیه نمودارهای ارائه شده در این بخش تنها مربوط به یک روز از اطلاعات جمع‌آوری و ثبت شده است و نتایج ارزیابی روزهای دیگر به علت مشابه بودن با آنها، ارائه نشده‌اند.

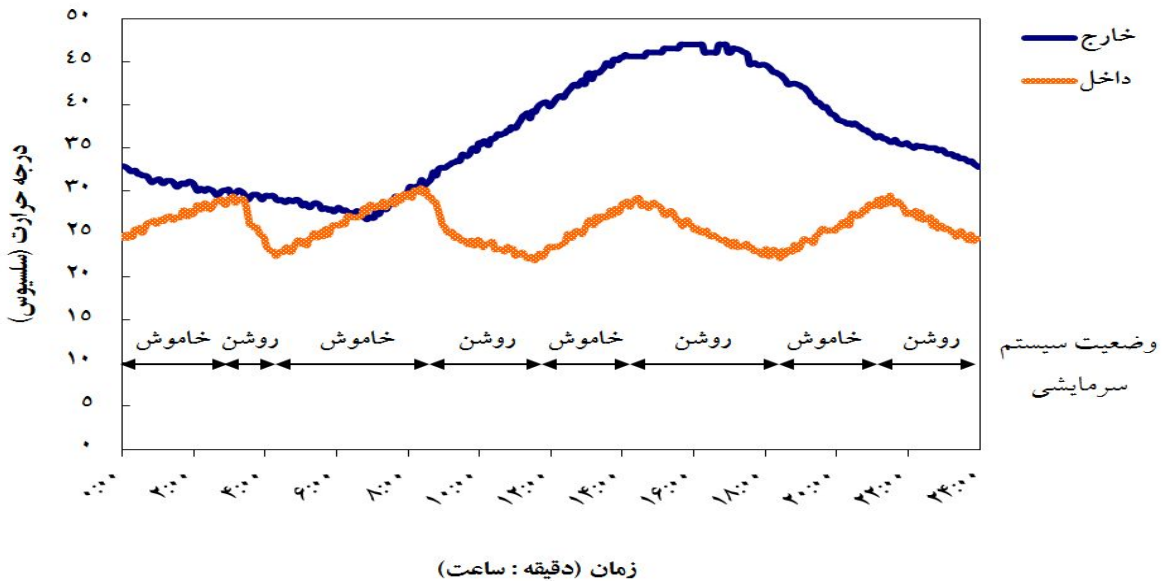
کنترل دما

برای کارکرد سیستم سرمایشی، حد بالای دمای مورد نیاز گلخانه ۲۹ و حد پایین آن ۲۲ درجه سلسیوس انتخاب و اعمال گردید. با بیشتر شدن دما از ۲۹ درجه سلسیوس برای حسگر شماره یک، دستگاه کنترل مرکزی فرمان روشن شدن کولر را به کنتاکتور صادر کرده و کنتاکتور سیستم سرمایشی را روشن می‌کرد. همچنین، با کمتر شدن دما از ۲۲ درجه سلسیوس، سیستم سرمایشی خاموش می‌شد. شکل ۵ تغیرات دمای محیط داخل و خارج گلخانه را در طول روز و نیز وضعیت عملکرد سیستم کنترلی و سیستم سرمایشی را در تنظیم دمای داخل گلخانه در محدوده‌ی مورد نظر نشان می‌دهد.

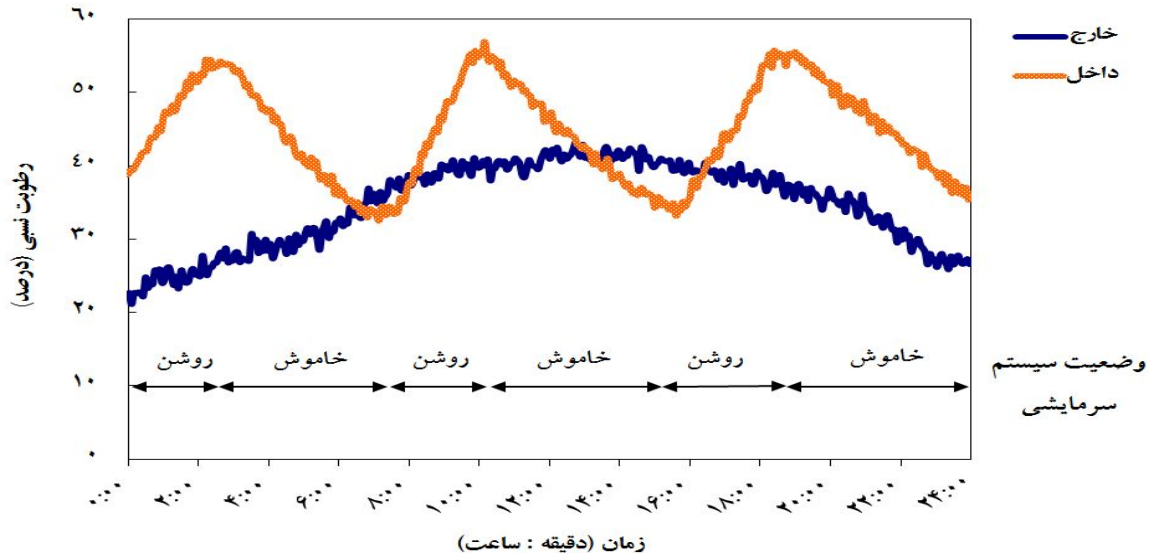
همان‌طور که از این نمودار مشاهده می‌گردد، دمای محیط درون گلخانه بین ۲۲ و ۲۹ درجه سلسیوس در نوسان بوده است. قابل ذکر است که این نوسانات (تعداد روشن و خاموش شدن سیستم سرمایشی) و شیب خنک شدن و گرم شدن با توجه به توان سرمایش کولر گازی نصب شده، میزان تبادل گرمایی گلخانه با محیط بیرون، دمای محیط خارج از گلخانه و مساحت گلخانه متغیر بوده است. به همین دلیل، مشاهده می‌شود که به‌علت دمای زیاد محیط و کم بودن توان سیستم سرمایشی، در بعضی از مواقع امکان رسیدن دمای درون گلخانه به حد پایین مورد نظر وجود نداشته و سیستم سرمایشی در طول روز به‌طور مستمر روشن بوده است.

کنترل میزان رطوبت

برای تأمین رطوبت در گلخانه، حد بالای رطوبت نسبی محیط ۵۵٪ و حد پایین آن ۳۵٪ انتخاب و اعمال شد. با کمتر شدن رطوبت نسبی از ۳۵٪ برای حسگر شماره یک، دستگاه کنترل مرکزی فرمان روشن شدن رطوبت‌ساز را به کنتاکتور صادر کرده و کنتاکتور رطوبت‌ساز را روشن می‌کرد. همچنین، با بیشتر



شکل ۵. دمای داخل و خارج گلخانه در طول روز و وضعیت عملکرد سیستم کنترل سرمایش گلخانه

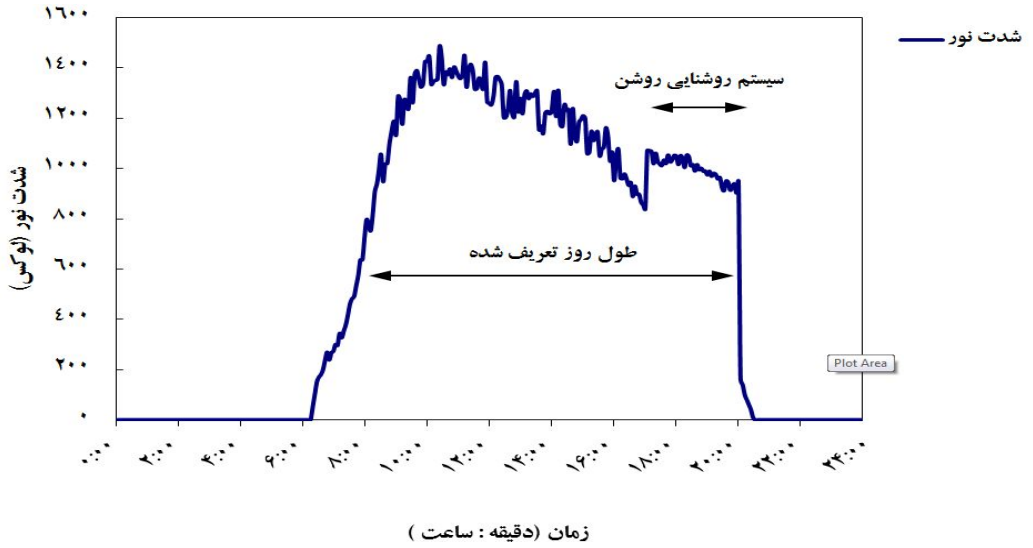


شکل ۶. رطوبت نسبی خارج و داخل گلخانه در طول روز و وضعیت عملکرد سیستم کنترل رطوبت گلخانه

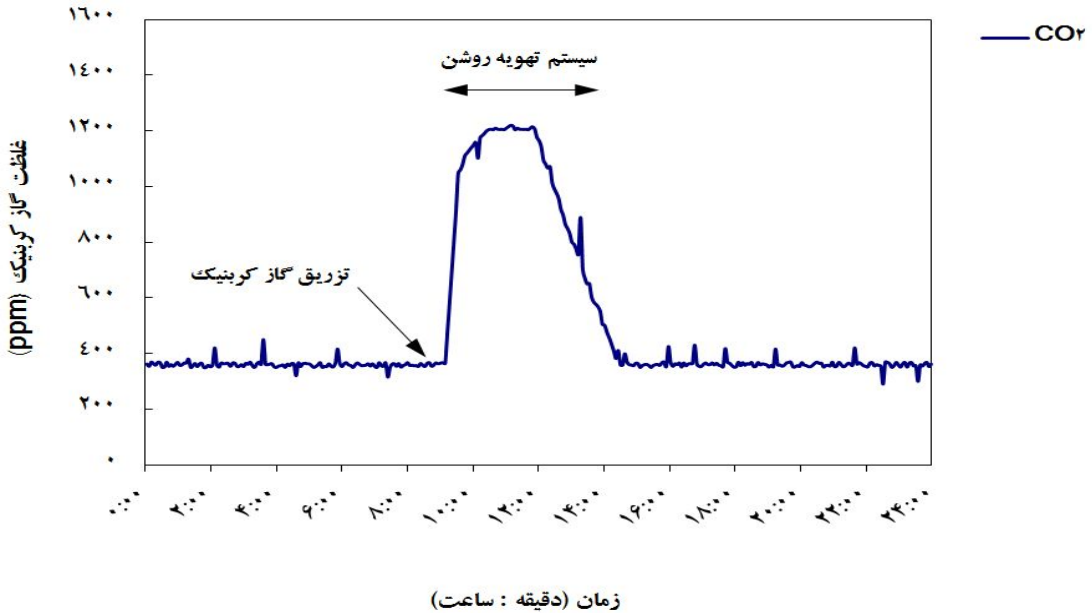
شدن رطوبت نسبی از ۵۵٪، سیستم رطوبت‌ساز خاموش می‌شد. شکل ۶ تغیرات رطوبت نسبی محیط داخل و خارج گلخانه را در طول روز و نیز وضعیت عملکرد سیستم تولید رطوبت را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این نمودار مشاهده می‌گردد، در حالی که رطوبت نسبی خارج گلخانه در طول شبانه‌روز ۲۳-۴۲ درصد بوده، رطوبت نسبی محیط بین ۳۵ و ۵۵ درصد در نوسان بوده است. قابل ذکر است که این نوسانات (تعداد روشن و خاموش شدن سیستم رطوبت‌ساز) و شیب افزایش و کاهش رطوبت با توجه به توان دستگاه رطوبت ساز استفاده شده، نرخ تبادل رطوبتی گلخانه با محیط خارج، دما محیط خارج از گلخانه و مساحت گلخانه متغیر بوده است.

کنترل روشنایی

برای کنترل شدت روشنایی در گلخانه در ساعاتی که میزان نور



شکل ۷. تغیرات روشنایی داخل گلخانه در طول روز و وضعیت عملکرد سیستم کنترل روشنایی گلخانه



شکل ۸. غلظت گازکربنیک داخل گلخانه و وضعیت عملکرد سیستم کنترل تهویه گلخانه

کافی نبود، طول روز به مدت ۱۲ ساعت (از ۸ صبح تا ۸ شب) از طریق فهرست مربوطه، وارد دستگاه شده و میزان حداقل روشنایی ۸۰۰ لوکس انتخاب و اعمال گردید. به عبارت دیگر، در صورتی که در فاصله زمانی ۸ صبح تا ۸ شب شدت روشنایی داخل گلخانه از ۸۰۰ لوکس کمتر می‌شد، دستگاه کنترل مرکزی فرمان روشن شدن سیستم روشنایی را به کنتاکتور صادر کرده و کنتاکتور سیستم روشنایی را راه‌اندازی می‌کرد.

شکل ۷ تغییرات شدت روشنایی محیط داخل گلخانه را در طول روز و نیز وضعیت عملکرد سیستم روشنایی را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این نمودار مشخص می‌شود، در ساعات انتهایی روز (از ساعت ۱۶:۳۰ به بعد) که شدت تابش نور خورشید از ۸۰۰ لوکس کمتر شده، دستگاه کنترل مرکزی سیستم روشنایی مصنوعی را به کار انداخته است. لازم به ذکر است از این سیستم کنترلی در روند معکوس نیز می‌توان استفاده

کرد. یعنی این که در تابستان، چنانچه شدت نور وارد شده به گلخانه بیش از حد مورد نیاز باشد، دستگاه کنترل مرکزی می‌تواند فرمان باز شدن سایه‌بان‌های نصب شده در داخل و یا خارج گلخانه را صادر کند.

تهویه و کنترل گازکربنیک محیط

برای کنترل کارکرد فن‌های نصب شده در دیواره‌های گلخانه به‌منظور تهویه، حد بالای غلظت گازکربنیک محیط ppm ۸۰۰ انتخاب گردیده بود. با بیشتر شدن غلظت این گاز در داخل گلخانه از ppm ۸۰۰، دستگاه کنترل مرکزی فرمان روشن شدن سیستم تهویه را به کنتاکتور صادر کرده و کنتاکتور فن تهویه را تا رسیدن میزان گازکربنیک به زیر ppm ۸۰۰ روشن نگه می‌داشت. شکل ۸ غلظت گازکربنیک داخل گلخانه و وضعیت عملکرد سیستم تهویه را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این نمودار نمایان است، با تزریق مصنوعی گازکربنیک به داخل گلخانه در ساعت ۱۱:۱۵ و افزایش غلظت این گاز از ppm ۸۰۰، فن تهویه فعال شده و میزان گازکربنیک کاهش یافته است. قابل ذکر است که شدت تخلیه و شیب کاهش گازکربنیک بسته به قدرت موتور فن، مساحت گلخانه و غلظت اولیه این گاز، متغیر خواهد بود. با توجه به این که تعداد گلدان‌های موجود در گلخانه به اندازه‌ای نبود که روی میزان گازکربنیک محیط تأثیر زیادی بگذارد، برای سنجش کارکرد صحیح دستگاه از کپسول‌های این گاز استفاده شد.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که با دستگاه کنترل مرکزی گلخانه‌ای طراحی و ساخته شده، کنترل دمای گلخانه در محدوده‌ی دمایی ۲۲-۲۹ درجه سلسیوس، کنترل رطوبت نسبی محیط در محدوده‌ی ۳۵-۵۵ درصد، به‌کار انداختن روشنائی تکمیلی گلخانه در شدت نور کمتر از ۸۰۰ لوکس و نیز تهویه گلخانه در غلظت بیشتر از *ppm* ۸۰۰ گازکربنیک، با موفقیت انجام شد و کنترل شرایط محیطی در محدوده‌ی مورد نظر و مطلوب بوده. نظر به این که دستگاه ساخته شده یک دستگاه الکترونیکی بوده و کارکرد آن بر مبنای الگوریتم‌های پیاده شده روی پردازنده دستگاه است، راه‌اندازی و کنترل تجهیزات گلخانه‌ای براساس داده‌های ارسالی از حسگرها در محدوده‌ی مطلوب کاربر در حالت ایده‌آل به‌درستی صورت خواهد گرفت و خارج شدن از محدوده‌ی مطلوب می‌تواند ناشی از موقعیت نامناسب نصب حسگرها، ایزوله نبودن سازه‌ی گلخانه، توان، گنجایش حرارتی و محل نصب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی باشد. در دستگاه کنترل مرکزی شرایط اقلیمی ساخته شده، نوآوری‌هایی در زمینه‌ی به‌کارگیری صفحات گرافیکی لمسی، استفاده از فهرست‌ها به زبان فارسی، سهولت ورود اطلاعات مورد نظر کاربر، به‌کارگیری قطعات الکترونیکی و حسگرهای جدید و ثبت و انتقال اطلاعات، انجام شده است.

منابع مورد استفاده

۱. امید، م. و ا. شفائی. ۱۳۸۴. کنترل کامپیوتری شرایط محیطی گلخانه. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ۶(۲۳): ۱-۱۹.

۲. دهقانی سانیج. ح.، ق. زارعی و ن. حیدری. ۱۳۸۶. بررسی مدیریت آبیاری و کارآیی مصرف آب در گلخانه‌ها و مسائل و چالش‌ها. اولین کارگاه فنی ارتقاء کارآیی مصرف آب با کشت محصولات گلخانه‌ای. ۲۶ مهرماه، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، کرج.

۳. زارعی، ق.، ا. ناصری و س. ح. صدرقائن. ۱۳۸۶. اتوماسیون سیستم‌های آبیاری در گلخانه‌ها. اولین کارگاه فنی خودکارسازی سامانه‌های آبیاری تحت فشار.، ۳ خردادماه، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی.

۴. شرافتی، ک.، م. امید و ق. زارعی. ۱۳۸۷. سازه و تجهیزات کنترل شرایط محیطی گلخانه‌ها. گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی

و مهندسی کشاورزی، شماره ۸۷/۶۵۸.

۵. عزیزی، آ.، ق. زارعی و ا. ع. سرمست شوشتری. ۱۳۹۰. طراحی و ساخت دستگاه کنترل مرکزی گلخانه‌ای. گزارش پژوهشی مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، شماره ۹۰/۴۰۱۹۸.

6. Ameur, S., M. Laghrouche and A. Adane. 2001. Monitoring a greenhouse using a microcontroller-based meteorological data-acquisition system. Renew. Energ. 24: 19-30.
7. Bot, G.P.A. 1991. Physical modeling of greenhouse climate. IFAC/ISHS Workshop, Matsuyama, Japan.
8. Chalabi, Z.S., B.J. Bailey and D.J. Wilkinson. 1996. A real-time optimal control algorithm for greenhouse heating. Comput. Electron. Agric. 15(1): 1-13.
9. Dayan, J., E. Dayan, Y. Strassberg and E. Presnov. 2004. Simulation and control of ventilation rates in greenhouses. Math. Comput. Simulat. 65: 3-17.
10. Eredics, P. 2009. Measurement for intelligent control in greenhouses. 7th Int. Conf. on Measurement, Smolenice Castle. Slovakia, pp. 178-181.
11. Eredics, P. and T.P. Dobrowiecki. 2010. Neural models for an intelligent greenhouse: The heating. 11th IEEE Int. Symp. on Computational Intelligence and Informatics, Budapest, Hungary, pp. 63-68.
12. Gates, R.S., K. Chao and N. Sigramis. 1999. Fuzzy control simulation of plant and animal environments. ASAE Annual Int. Meeting, Canada, Paper No. 993196.
13. Guzma´n-Cruz, R., R. Castan˜eda-Miranda, J.J. Garcı´a-Escalante, I.L. Lo´pez-Cruz, A. Lara-Herrera and J.I. de la Rosa. 2009. Calibration of a greenhouse climate model using evolutionary algorithms. Biosys. Eng. 104: 135-142.
14. Javadikia, P., A. Tabatabaee Far, M. Omid, R. Alimardani and L. Naderloo. 2009. Intelligent control based fuzzy logic for automation of greenhouse irrigation system and evaluation in relation to conventional systems. World Appl. Sci. J. 6(1): 16-23.
15. Lipov, A.Y. 1992. Intellectual real time control system for technological process in the greenhouse. Traktory i Sel'skokhozyastvennye Mashiny (10-12): 12-16.
16. MacMahon, R. 2011. An Introduction to Greenhouse Production. The Ohio State University Curriculum Materials Service, Columbus, OH.
17. Marhaenanto, B. and G. Singh, 2002. Development of a computer-based greenhouse environment controller. World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources, Brazil, pp. 136-146.
18. Pohlheim, H. and A. Heißner. 1999. Optimal control of greenhouse climate using real-world weather data and evolutionary algorithms. Proc. of the Genetic and Evolutionary Computation Conference, GECCO'99, San Francisco, CA, pp. 1672-1677.
19. Seminar, K.B., H. Suhardiyanto, D. Tooy, T. Kozai and H. Murase. 1998. Design and implementation of a computer-based control system for greenhouse in tropical regions. 3rd IFAC-CIGR Workshop, Makuhari, Chiba, Japan, 24-26 April, pp. 43-48.
20. Shin, J.H., K.M. Kim, K.H. Ko and W.S. Hahn. 1995. A study on the automatic measurement and control system for greenhouse environment. RDA J. Agric. Sci. 37(2): 681-686.
21. Sriraman, A. and R.V. Mayorga. 2004. A fuzzy inference system approach for greenhouse climate control. Environ. Info. Archi. 2: 699-710.
22. Sun, X.B. 1992. A study on the greenhouse environmental parameter classifies control system by microcomputer. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng. 8(1): 72-77.
23. Van Straten, G., H. Challa and F. Buwalda. 2000. Towards user accepted optimal control of greenhouse climate. Comp. Electron. Agric. 26: 221-238.
24. Wagner, S.W., F. Forcella and W.B. Voorhees. 1999. Converting an existing greenhouse control system from pneumatics to PC. ASAE-CSAE-SCGR Annual International Meeting, Toronto, Ontario, Canada, 18-21 July.
25. Wang, X. and P.S. Dunston. 2006. Compatibility issues in augmented reality systems for AEC: An experimental prototype study. Automat. Constr. 15: 314-326.
26. Wang, J. and Y. Wang. 2007. The greenhouse remote monitoring system based on RCM2100. College of Mechanical and Electrical Engineering, Agricultural University of Hebei, China, pp. 890-894.
27. Zazueta, F.S., R. Bucklin, P.H. Jones and A.G. Smajstrla. 2008. Basic concepts in environmental computer control of agricultural systems. Agric. and Biol. Eng. Dept., University of Florida.