

## طراحی، نصب و ارزیابی سردخانه کنترل خودکار اتمسفر

محمد حسین سعیدی راد<sup>۱\*</sup>، سودابه عین افشار<sup>۲</sup>، سعید ظریف نشاط<sup>۳</sup>، صمد نظرزاده اوغاز<sup>۴</sup>

۱. دانشیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
  ۲. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
  ۳. استادیار پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
  ۴. مربی پژوهش مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱/۲۲ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۵/۲۶)

### چکیده

یکی از راه‌های افزایش ماندگاری محصولات کشاورزی نگهداری آن‌ها در شرایط اتمسفر کنترل شده می باشد. بدین منظور سردخانه ای مجهز به سامانه برودتی با شرایط اتمسفر کنترل شده طراحی و نصب شد که امکان تزریق  $O_2$ ،  $CO_2$  و  $N_2$  را به صورت خودکار و با استفاده از سامانه فرمان پی‌ال‌سی را داشت. گازهای مورد نیاز برای تزریق توسط سه کپسول ۱۰ کیلویی تامین می‌شد. تشخیص غلظت هر یک از گازهای داخل مخزن توسط حسگرها و عمل تزریق گاز به درون مخزن توسط شیرهای برقی انجام شد. در پایان، سامانه خودکار تزریق و کنترل گازها با اعمال سه ترکیب گاز و سه دمای سردخانه مورد ارزیابی فنی قرار گرفت. نتایج نشان داد که سامانه تزریق گاز با خطای میانگین ۱۷/۵۵ درصد، قابلیت تنظیم ترکیب گازهای درون محفظه سردخانه را دارا می باشد. میانگین خطای سامانه برودتی نسبت به مقدار دمای تنظیمی ۱۹/۸۷ درصد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: افزایش ماندگاری، محصولات کشاورزی، تزریق گاز  $CO_2$ ، پی‌ال‌سی

### مقدمه

عمر انبارداری میوه‌ها و سبزی‌ها به فاکتورهای مختلفی از قبیل فیزیولوژی میوه‌ها و سبزی‌ها، شرایط پیش از برداشت، دما، رطوبت نسبی، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن بستگی دارد. دمای پایین به کاهش سرعت تنفس، کنترل رشد میکروارگانیسم‌ها و به تعویق فعالیت متابولیکی بافت گیاهی کمک می‌کند. کاهش دما به میزان ۱۰ درجه سلسیوس سرعت تنفس را ۲ یا ۳ برابر کمتر می‌کند. شدت تنفس در گیاهان و بر حسب اندام‌های مختلف، متفاوت است ولی در هر حال در مقایسه با تنفس جانوران، تنفس در گیاهان بسیار ضعیف است. در گیاهان، اندام‌های در حال رشد و جوان و در دانه‌های در حال رویش، میزان تنفس بالاتر است. همچنین در گل‌های در حال باز شدن و به-ویژه در اندام‌های تولید مثلی، تنفس شدیدتر است به همین دلیل ماندگاری این اندام‌ها نیز کمتر می باشد. عواملی از قبیل غلظت اکسیژن، دی‌اکسیدکربن، نیتروژن و دما بیشترین تاثیر را بر ماندگاری محصول دارند و با کنترل هر یک از این عوامل می‌توان عمر انبارداری محصول را افزایش داد. در شرایط اتمسفر کنترل شده با کنترل هر یک از این عوامل در محدوده موردنظر

تا حد زیادی می‌توان فعل و انفعالات شیمیایی را محدود نموده و بر مدت زمان نگهداری محصول مورد نظر افزود (Arthey and Dennis, 1991).

نتایج تحقیقات نشان داده است که کاهش غلظت اکسیژن از ۲۱ درصد به ۲ درصد باعث کاهش سوخت‌وساز به میزان تقریباً ۳۰ درصد می‌شود. غلظت  $CO_2$  بیش از ۲۰ درصد بر روی سرعت تنفس اثر منفی دارد و بسته به نوع مواد گیاهی و غلظت اکسیژن ممکن است تنفس بی‌هوازی تشدید گردد. اثر بازدارندگی  $CO_2$  بر روی سرعت تنفس کاملاً مشخص نیست، چون غلظت بالای  $CO_2$  بسته به نوع محصول و مرحله رشد اثرات متفاوتی خواهد داشت. اندازه‌گیری جذب اکسیژن در بعضی از محصولات نشان می‌دهد که غلظت بالای  $CO_2$  سرعت تنفس را کاهش می‌دهد ولی در محصولاتی چون کاهو، اسفناج و کدو موجب تغییر محسوس نمی‌گردد (Mittal, 1997).

استفاده از اتمسفر کنترل شده برای نگهداری میوه‌ها و سبزی‌های تازه در اغلب تحقیقات قرن بیستم مورد توجه بوده است. نتایج نشان داده که این روش در افزایش عمر و کیفیت پس از برداشت محدوده وسیعی از میوه‌ها و سبزی‌های تازه مؤثر می‌باشد. انبار با اتمسفر کنترل شده، زمانی مؤثر خواهد بود که با کنترل دما همراه باشد. بنابراین مقادیر گاز و درجه حرارت

خروجی برای تنظیم میزان گاز درون مخزن و کنترل اتمسفر درون آن تعبیه شده بود. در ابتدای کار پمپ مکشی شروع به کار کرده تا هوای داخل مخزن را از آن خارج سازد؛ سپس به مدت ۵ دقیقه هوایی که ترکیب آن از قبل مشخص شده بود به داخل مخزن تزریق شده تا با توجه به عایق بندی‌های انجام شده فشار درون آن به حد مورد نظر برسد. نتایج نشان داد که بهترین دما برای کنترل سرعت رسیدگی ۲۵ درجه سانتی‌گراد بوده و تزریق اکسیژن، دی‌اکسیدکربن و اتیلن در تکمیل فرآیند رسیدگی مؤثر می‌باشد (Fabio et al., 2008).

نگهداری بهتر و زمان طولانی تر بسیاری از محصولات کشاورزی نیازمند نگهداری در شرایط اتمسفر کنترل شده می‌باشند. سردخانه‌های کنترل اتمسفر در مقیاس‌های صنعتی هم اکنون موجود بوده و محصولاتی که ترکیب مناسب گازها برای نگهداری آن طی مراحل پژوهشی به دست آمده است در این سردخانه‌ها نگهداری می‌کردند. به منظور تعیین ترکیب مناسب گازها برای محصولات داخلی، نیازمند پژوهش‌های جدید بوده که این مستلزم وجود یک سردخانه آزمایشگاهی با امکان تغییر و کنترل گازها است. لذا هدف از اجرای این تحقیق طراحی و ساخت سردخانه آزمایشگاهی با امکان کنترل گازهای داخل آن می‌باشد. این سردخانه شامل یک محفظه مجهز به سامانه برودتی (۵-۰ درجه سانتی‌گراد) با امکان تزریق و کنترل غلظت گازهای  $CO_2$ ،  $O_2$  و  $N_2$  به صورت خودکار است. از گاز  $N_2$  به عنوان پرکننده استفاده شده و با انتخاب غلظت‌های  $CO_2$ ،  $O_2$ ، غلظت گاز  $N_2$  تا رسیدن به فشار اتمسفر تنظیم می‌گردد.

### مواد و روش‌ها

در مرحله اول سردخانه مورد نیاز با ظرفیت داخلی ۰/۷۸ متر مکعب و محدوده دمایی ۵-۰ درجه سانتی‌گراد و امکان قرار گیری تعداد شش سینی هرکدام به مساحت ۰/۵ متر مربع توسط شرکت سازنده یخچال‌های صنعتی (گروه تولیدی محمد زاده) به صورت سفارشی و با رعایت شرایط لازم برای نصب تجهیزات مورد نیاز ساخته شد. اندازه ذکر شده بر اساس یخچال‌های صنعتی تولیدی و مورد استفاده در بخش‌های تجاری و همچنین ظرفیت قرارگیری چند نمونه محصول انتخاب گردید. این سردخانه مجهز به سامانه سرمایشی رایج در کلیه یخچال‌های صنعتی و خانگی، شامل یک کمپرسور، کندانسور و اواپراتور بوده و برای عایق نمودن بدنه سردخانه، بین دیواره‌ها فوم تزریق شد. برای ساخت درب‌های سردخانه نیز از شیشه‌های دوجداره و درب‌های آهنربایی به همراه دستگیره‌های قفل شونده استفاده شد. به منظور افزایش عایق بندی درب‌ها، فاصله بین

در این فن آوری از اهمیت زیادی برخوردار است. علت افزایش استفاده تجاری از این فن آوری در سال‌های اخیر، نگهداری میوه‌ها و سبزیجات تازه خارج از فصل و پاسخ به نیاز مشتریان برای انواع میوه‌ها و سبزی‌ها در طول سال می‌باشد. علت دیگر استفاده از این فن آوری، عدم استفاده از مواد شیمیایی در مواد غذایی مورد مصرف است.

ترکیب هوا شامل ۷۸ درصد ازت، ۲۱ درصد اکسیژن و مابقی را گازکربنیک و گازهای دیگر تشکیل می‌دهند. با افزایش متناسب دی‌اکسیدکربن و کاهش اکسیژن میزان تنفس کاهش یافته و زمان ماندگاری طولانی‌تر می‌شود، اما باید کنترل صحیح صورت گیرد تا از بی‌نظمی فیزیولوژیک در بافت‌های زنده و فساد ثانوی توسط میکروارگانیسم‌های غیرهوازی جلوگیری شود (Fellows, 1990).

مصری‌ها و سامری‌ها دو قرن پیش از میلاد از سنگ آهک درون دخمه‌های نگهداری میوه برای افزایش عمر آن‌ها استفاده می‌کرده‌اند. این کار با محبوس کردن گاز درون این دخمه‌ها و سردابه‌ها صورت می‌گرفته است. با استفاده از این روش میزان اکسیژن کاهش یافته و عمر نگهداری میوه‌ها افزایش یافته است. این روش که در قرن نوزدهم مورد استفاده قرار می‌گرفته بنیان علم نگهداری میوه‌ها و سبزیجات را که همان آگاهی از علم تنفس میوه‌ها است تشکیل می‌دهد (Kader, 1986).

تعدادی از محققین گزارش داده‌اند که غلظت‌های کم‌تر از ۱ درصد اکسیژن و بیشتر از ۱۵ درصد دی‌اکسیدکربن غلظت‌های بحرانی برای محصولات کشاورزی می‌باشند. محدوده تحمل‌پذیری نسبت به اکسیژن کم و دی‌اکسیدکربن زیاد، به چندین متغیر از جمله دما، شرایط فیزیولوژیکی، بلوغ و فرآیندهای مقدماتی حداقل بستگی دارد. به‌طور کلی سطح دی-اکسیدکربن بیشتر از ۱۰ تا ۱۵ درصد اگرچه می‌تواند از رشد میکروارگانیسم‌های فاسدکننده جلوگیری کند اما سبب آسیب فیزیولوژیک بر محصولات حساس به دی‌اکسیدکربن می‌شود. سطح اکسیژن کم‌تر از ۱ درصد نیز باعث بی‌هوازی شدن تنفس می‌شود (Lopez et al., 1993, Antmann, 2008 & Exama et al., 1993).

در تحقیقی تجهیزات آزمایشگاهی مخصوصی جهت نگهداری میوه موز با امکان کنترل دی‌اکسیدکربن، اکسیژن و اتیلن طراحی شد. محققین جهت نگهداری میوه موز و کنترل سرعت رسیدگی آن از یک محفظه آزمایشگاهی ۲۵ لیتری از جنس پلاستیک شفاف استفاده نمودند. محفظه موردنظر دارای یک فن بوده تا گازها را به خوبی با هم مخلوط کند. یک دریچه برای نمونه‌برداری از گازهای داخل مخزن و دریچه‌های ورودی و

$$E = \frac{T_a - T_m}{T_a} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$E = \frac{D_a - D_m}{DT_a} \quad (\text{رابطه ۲})$$

که در آن‌ها:  $E$ ،  $T_a$ ،  $T_m$ ،  $D_a$  و  $D_m$  به ترتیب میزان خطا، دمای تنظیمی، دمای اندازه‌گیری شده، غلظت تنظیمی و غلظت اندازه‌گیری شده می‌باشد.

#### طراحی و نصب سامانه تزریق گاز

برای تامین سه گاز دی‌اکسید کربن، نیتروژن و اکسیژن از سه مخزن ۵۰ کیلوگرمی استفاده و اتصال آن‌ها به داخل محفظه مخزن سردخانه توسط رگولاتور و شیلنگ انجام و از شیر برقی برای تنظیم میزان تزریق استفاده شد. به منظور تخلیه گازهای درون مخزن در ابتدای شروع به کار سامانه، از یک پمپ مکشی استفاده شد (شکل ۱-ب). با توجه به این که حجم داخلی سردخانه ۷۸۰ لیتر بود، میزان هر یک از گازهای مورد نیاز برای پر کردن این انبار در جدول (۱) آورده شده است.

تشخیص میزان هر یک از گازهای درون مخزن توسط سه حس گر با مشخصات ذکر شده در جدول (۲) و عمل تزریق گاز به درون مخزن توسط شیرهای برقی انجام شد تا بتوان با بیش-ترین دقت ممکن مقدار گازهای مورد نظر را به درون مخزن تزریق نمود. علاوه بر این، شیرهای برقی این امکان را فراهم می‌آوردند که بتوان از آن‌ها به عنوان عملگر در مدارهای فرمان استفاده نمود. با شروع کار مدار فرمان، یک پمپ مکنده تا حد ممکن گازهای درون مخزن را تخلیه کرده تا در ادامه میزان دقیقی از گازهای مورد نظر به صورت خودکار وارد محفظه سردخانه شود.

لازم به توضیح است که امکان تهیه حس گر دی‌اکسید کربن جهت اندازه‌گیری غلظت گاز در محدوده ۵۰٪ در داخل کشور وجود نداشت، لذا حس گر دی‌اکسید کربن ذکر شده در جدول (۲) به اجبار انتخاب گردید. هرچند که دامنه اندازه‌گیری عنوان شده توسط کارخانه سازنده این حس گر حداکثر ۱۰۰۰۰ پی پی ام را نشان می‌دهد ولی با توجه به این که خروجی ولتاژ حس گر دی‌اکسید کربن به صورت خطی می‌باشد، خروجی مورد نظر با استفاده از یک برد الکترونیکی شکل (۳) گرفته شد و غلظت گاز داخل محفظه سردخانه در محدوده مورد نظر اندازه‌گیری گردید.

#### طراحی و نصب سامانه کنترلی

پی‌ال‌سی طبق برنامه‌ای که برای آن نوشته شده است، به عملگرها فرمان می‌دهد تا میزان مناسبی از هر یک از فاکتورهای کنترلی درون سردخانه را برقرار نمایند. هرگاه تغییری در ترکیب گازها یا فشار در سردخانه ایجاد شود، حس

درب و بدنه سردخانه با نوارهای لاستیکی ارتجاعی پر شد (شکل ۱-الف).

در مرحله بعد، سامانه تزریق گازهای  $CO_2$ ،  $O_2$  و  $N_2$  (شامل مخازن، شیرهای برقی، شیلنگ‌ها و اتصالات مربوطه) و همچنین مدار فرمان شامل (حس گر اکسیژن، حس گر دی‌اکسید کربن، حس گر فشار و دما)، و مدار قدرت شامل (سوئیچ اصلی برق، شستی‌های فرمان، لامپ‌های سیگنال و میکروسوئیچ‌ها) بر روی سردخانه طراحی و نصب گردید. با توجه به این که گاز  $N_2$  به عنوان پرکننده استفاده می‌شود، میزان تزریق این گاز بر اساس فشار داخل محفظه تنظیم می‌گردید. مجموعه کنترل کننده قابل برنامه نویسی ( $PLC^1$ ) شامل منبع تغذیه، ماشین  $PLC$  و مبدل آنالوگ به دیجیتال می‌باشد. ماشین  $PLC$  از نوع  $LOGO$  انتخاب شد که زبان برنامه نویسی آن  $FBD^2$  بود.

برای کالیبراسیون و همچنین ارزیابی عملکرد سامانه تزریق خودکار و اندازه‌گیری درصد گازهای موجود در داخل سردخانه، از یک دستگاه گاز آنالایزر مدل  $WITT$  که قابلیت اندازه‌گیری دو گاز  $O_2$ ،  $CO_2$  را با دقت ۰/۱ درصد را داشت و همچنین از یک فشارسنج اختلافی ساخت شرکت  $TESTO$  با دقت ۱ پاسکال استفاده شد.

به منظور ارزیابی سامانه خودکار تزریق گازهای  $CO_2$ ،  $O_2$  و  $N_2$  تاثیر تیمارهای دما در سه سطح (۱، ۳ و ۵ درجه سلسیوس) و درصد ترکیب گازها در سه سطح (۲۰، ۱۰ و ۷۰)، (۲۵، ۱۰ و ۶۵) و (۵۰، ۵ و ۴۵) درصد به ترتیب برای  $CO_2$ ،  $O_2$  و  $N_2$  بر میزان خطای سامانه برودتی، تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی، میزان خطای سامانه تزریق خودکار نسبت به غلظت تنظیمی و تاخیر زمانی در قطع سامانه پس از رسیدن به غلظت مورد نظر، در قالب آزمایش فاکتوریل و با استفاده از طرح آماری کاملاً تصادفی در سه تکرار بررسی شد. تاخیر زمانی در قطع دو سامانه برودتی و تزریق خودکار، از زمان رسیدن دما و غلظت گازها به محدوده تنظیمی تا زمان صدور فرمان قطع توسط پی ال سی، بوسیله یک زمان سنج دیجیتالی با دقت ۰/۰۱ ثانیه اندازه‌گیری شد. برای محاسبه میزان خطای دو سامانه برودتی و سامانه تزریق گاز از روابط زیر استفاده شد. در این تحقیق تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار  $SPSS(16)$  و رسم نمودارها با استفاده از نرم افزار  $Excel(2007)$  انجام گردید.

می‌دهد تا با انجام فعالیت مناسب در زمان مورد نظر شرایط درون مخزن را تحت کنترل داشته باشند. برنامه کاری پی‌ال‌سی با استفاده نرم افزار Siemens Logo Soft نوشته شد. پشت هر یک از درب های سردخانه یک میکروسویچ نصب شد که با باز شدن درها، فرمان قطع تزریق گازها توسط پی‌ال‌سی صادر و شروع مجدد آن نیز نیازمند استارت سامانه توسط اپراتور می‌باشد.

گرها آن را تشخیص داده و به قلب دستگاه که همان پی‌ال‌سی می‌باشد اعلام می‌نمایند. پی‌ال‌سی به عملگرها دستورات لازم را داده تا شرایط به حالت مورد نظر بازگردد. برای مدار فرمان از پی‌ال‌سی لوگو که کوچک‌ترین پی‌ال‌سی ساخت شرکت زیمنس می‌باشد استفاده شد. پی‌ال‌سی قلب دستگاه است و طبق برنامه کاری که برای آن نوشته شده است مدیریت کل سامانه را بر عهده دارد و با توجه به اطلاعاتی که از حس گرها دریافت می‌کند در هر زمان تصمیمات لازم را گرفته و به عملگرها دستور



الف. سردخانه کنترل اتمسفر ب: کیسول های گاز

جدول ۱- مشخصات گازها مورد نیاز برای تزریق

مقدار وزنی مورد نیاز (gr)	ترکیب گازها در سردخانه (%)	جرم حجمی (gr/lit)	وزن مولکولی	نوع گاز
۵۵/۷۳۱	۵	۱/۴۲۹	۳۲	اکسیژن
۴۸۷/۵۷۸	۴۵	۱/۲۵۰۲	۲۳/۰۲	نیتروژن
۷۰۰/۹۴۷	۵۰	۱/۹۹۷	۴۴/۰۱	دی‌اکسیدکربن

جدول ۲- مشخصات حس گرهای مورد استفاده

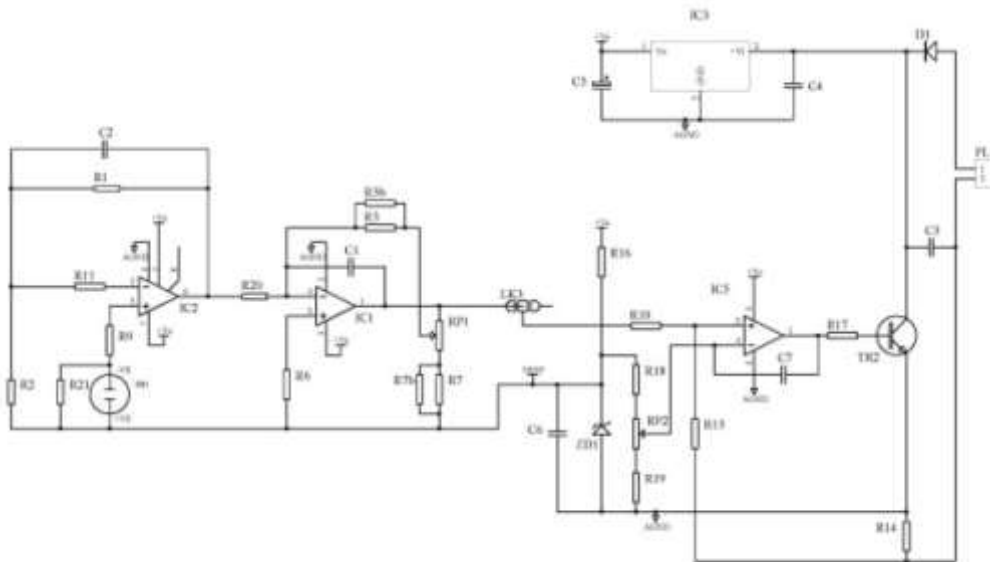
فشار سنج	حس گر اکسیژن	حس گر دی‌اکسید کربن	نوع حس گر
BT210	O <sub>2</sub> A <sub>2</sub>	Mg811	مدل
۱-۶۰۰bar	۰-۲۰/۹ %	۳۵۰-۱۰۰۰۰ ppm	دامنه اندازه گیری
۴-۲۰mA	۰-۱۰ V	۰-۱۰ V	خروجی
۲۴VDC	۱۲VDC	۱۲VDC	منبع تغذیه

این مدار شامل دو خط ولتاژ صفر تا ۵ ولت است که هر یک مربوط به یکی از سنسورهای گاز می‌باشند. با تغییر غلظت گاز

به منظور گرفتن خروجی از حس گرهای دی‌اکسید کربن و اکسیژن از یک مدار الکترونیکی استفاده شد. خروجی

تغییر کند ولتاژ خروجی مربوط به حس گر دی‌اکسیدکربن نیز بین صفر تا ۵ ولت تغییر خواهد کرد. شکل‌های (۲ و ۳) نقشه و برد الکترونیک مربوط به حس گرها را نشان می‌دهد.

اکسیژن درون مخزن از ۰ تا ۲۱ درصد ولتاژ خروجی از مدار الکترونیک بین صفر تا ۱۰ ولت تغییر خواهد کرد و چنانچه غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در مخزن بین صفر تا ۴۵ درصد



شکل ۲. مدار الکترونیک سنسورهای گاز

عملگرهای دستگاه عبارت بودند از پمپ مکشی و سه شیر برقی که گاز را به درون مخزن تزریق می‌کنند. رله‌ها فرمان لازم را از پی‌ال‌سی دریافت کرده و با تحریک شدن بوبین آن‌ها شیرهای برقی تحریک می‌شوند. پمپ مکشی با برق ۲۲۰ ولت کار می‌کند بنابراین برای راه‌اندازی آن از یک کنتاکتور استفاده شد که فرمان لازم را از یک رله و رله نیز از پی‌ال‌سی دریافت می‌کند.

با چرخاندن سویچ اصلی، برق وارد سامانه می‌شود و از این پس با زدن کلید Start پمپ مکشی برای مدت ۵ دقیقه شروع به کار می‌کند تا حد لازم گازهای درون مخزن را تخلیه نماید. بعد از پایان کار پمپ مکشی، شیرهای برقی شروع به کار کرده و سه گاز اکسیژن، نیتروژن و دی‌اکسیدکربن به صورت کنترل شده به درون مخزن تزریق شد. علاوه بر روش خودکار تنظیم میزان گازهای درون دستگاه این امکان فراهم شده است که با استفاده از سویچ‌های فرمان به صورت دستی گاز را درون مخزن تزریق نمود. در ادامه چنانچه هر یک از درب‌های دستگاه به هر علتی باز شود، تزریق گاز قطع شده و به محض بسته شدن درب، دستگاه کار خود را از ابتدا و با تخلیه گاز توسط پمپ مکشی ادامه می‌داد. همچنین اپراتور این امکان را خواهد داشت تا در صورت لزوم با زدن کلید Stop دستگاه را خاموش نموده و با زدن استارت مجدداً آن را راه‌اندازی نماید.



شکل ۳- برد الکترونیک حس گرهای اکسیژن و دی‌اکسید کربن



شکل ۴- جعبه مدار فرمان و قدرت شامل (پی‌ال‌سی، منبع تغذیه، شیرهای برقی، رله‌ها، کنتاکتور و سویچ‌های اصلی و فرمان)

از رسیدن به غلظت مورد نظر در سطح احتمال ۱٪ دارد. همچنین نتایج حاصل از آنالیز واریانس (جدول ۳) نشان می دهد که تاثیر تیمار ترکیب گازها بر چهار صفت مورد مطالعه معنی دار بوده و اثر متقابل دمای سردخانه در ترکیب گازها تاثیر معنی داری بر هیچ یک از صفات ندارد.

نتایج حاصل از آزمون مقایسه میانگین ها که در سطح احتمال ۵٪ انجام گردید (جدول ۴) نشان داد که افزایش دما تاثیر چندانی بر خطای دو سامانه و همچنین تاخیر زمانی در قطع آن ها نداشته است ولی با افزایش نسبت  $CO_2$  در مقایسه با دو گاز دیگر، خطای سامانه برودتی افزایش می یابد و از طرف دیگر تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی کاهش پیدا می کند (شکل های ۷ و ۸). از آنجا که گاز  $CO_2$  در سردخانه ها به عنوان سرماساز استفاده می شود و تزریق این گاز موجب کاهش شدید دما در داخل محفظه سردخانه شده و از طرف دیگر سامانه برودتی خود سردخانه نیز در حال کار می باشد لذا تداخل این دو سامانه موجب می گردد تا دمای داخل محفظه سردخانه به سرعت کاهش یافته و موجب افزایش تاخیر زمانی در قطع سامانه از زمان رسیدن دما به مقدار تنظیمی گردد. به طور کلی می توان نتیجه گرفت که سامانه تزریق گاز با خطای میانگین ۱۷/۵۵ درصد، قابلیت تنظیم ترکیب گازهای درون محفظه سردخانه را دارا می باشد. میانگین خطای سامانه برودتی نسبت به مقدار دمای تنظیمی ۱۹/۸۷ درصد به دست آمد. همچنین میانگین تاخیر زمانی در قطع سامانه های برودتی و تزریق گاز به ترتیب ۵۰/۰۷ و ۳۵/۲۵ ثانیه به دست آمد.

برای نمونه گیری از محیط درون مخزن بدون این که درهای آن باز شود و باعث به هم خوردن تعادل اتمسفر داخل آن شود، از یک بالن لاستیکی استفاده شد که دارای دو سوپاپ یک طرفه در دو انتها است. با فشردن بالن هوای درون آن در محیط تخلیه می شود و با رها کردن آن هوا از درون مخزن مکیده می شود که با استفاده از سوزن نوک گاز آنالایزر می توان نسبت گازهای درون بالن را بررسی کرد که نماینده ترکیب گازهای درون یخچال است (شکل ۵).



شکل ۵- دستگاه گاز آنالایزر، بالن لاستیکی و فشار سنج نصب شده بر روی بدنه سردخانه

## نتایج و بحث

نتایج ارزیابی فنی دستگاه که در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی با آزمایش فاکتوریل انجام شد نشان داد که تیمار دمای سردخانه تاثیر معنی داری بر تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی و همچنین تاخیر زمانی در قطع سامانه تزریق گاز پس

جدول ۳- نتایج آنالیز واریانس (میانگین مربعات)

درجه آزادی	خطای سامانه برودتی	خطای سامانه تزریق گاز	تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی	تاخیر زمانی در قطع سامانه تزریق گاز
دمای سردخانه	۲/۱۰ <sup>ns</sup>	۱/۹۸ <sup>ns</sup>	۵۵۵/۸۱**	۴۴۲/۸۱*
ترکیب گازها	۱۶۳/۳۶*	۲۵۵/۸۳*	۱۵۸۶/۸۱*	۶۶۱/۱۵*
دمای سردخانه × ترکیب گازها	۳/۳۵ <sup>ns</sup>	۴/۵۵ <sup>ns</sup>	۸۳/۶۵ <sup>ns</sup>	۴۱/۱۵ <sup>ns</sup>
خطا	۱/۲۸	۱/۸۲	۳۶/۴۴	۱۹/۰۴

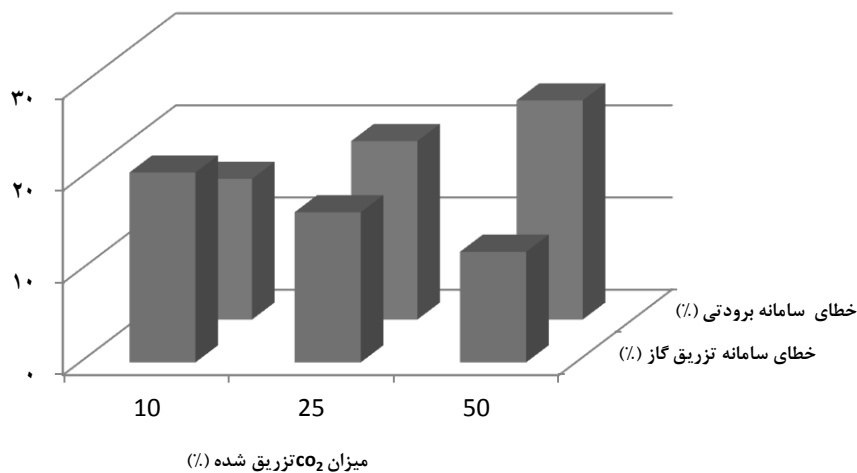
ns: عدم وجود اختلاف معنی دار

\*: اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۱ درصد

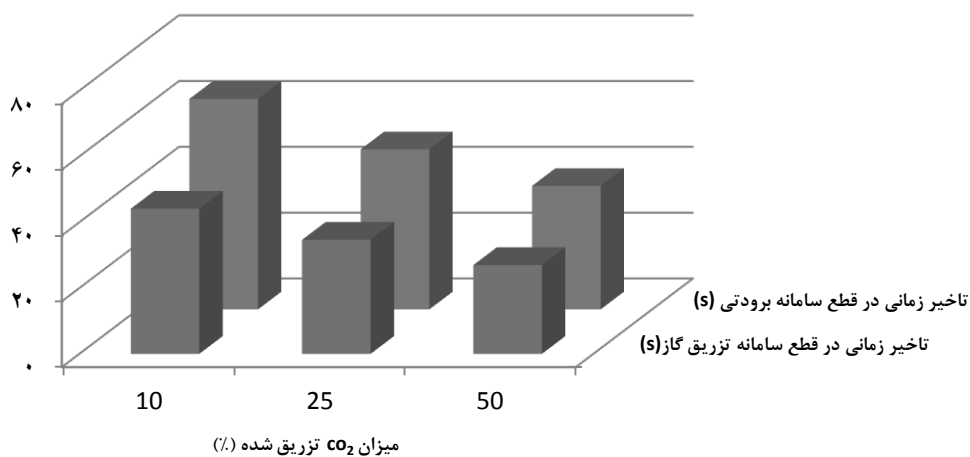
جدول ۴- نتایج آزمون مقایسه میانگین ها در سطوح مختلف متغیرها با استفاده از آزمون دانکن.

متغیرها	سطوح	خطای سامانه برودتی (%)	خطای سامانه تزریق گاز (%)	تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی (s)	تاخیر زمانی در قطع سامانه تزریق گاز (s)
دمای سردخانه	۱	۱۹/۱۱ a	۱۷/۹۹ a	۴۱/۰۰ a	۳۰/۶۶ a
دمای سردخانه (درجه سلسیوس)	۳	۲۰/۰۳ a	۱۷/۸۰ a	۵۴/۵۵ b	۴۲/۳۳ b
	۵	۱۹/۳۱ a	۱۷/۱۰ a	۵۴/۶۷ b	۳۱/۷۸ a
ترکیب گازها (درصد) ( $N_2, O_2, CO_2$ )	(۱۰، ۲۰، ۷۰)	۱۵/۲۷ a	۲۰/۶۰ a	۶۴/۰۰ a	۴۴/۱۱ a
	(۲۵، ۱۰، ۶۵)	۱۹/۳۸ b	۱۶/۳۰ b	۴۸/۶۷ b	۳۴/۶۶ b
	(۵۰، ۵، ۴۵)	۲۳/۷۹ c	۱۲/۰۰ c	۳۷/۵۵ a	۲۷/۰۰ c

اعداد با حروف مشابه برای هر تیمار در هر ستون حاکی از عدم اختلاف معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۷- تاثیر افزایش درصد CO<sub>2</sub> بر خطای سامانه های برودتی و تزریق گاز



شکل ۸- تاثیر افزایش درصد CO<sub>2</sub> بر تاخیر زمانی در قطع سامانه های برودتی و تزریق گاز

به نتیجه مطلوب تر، نیازمند طراحی و ساخت مجدد محفظه سردخانه با عایق بندی هوایی مناسب می باشد.

### نتیجه گیری

موارد زیر را می توان از ارزیابی فنی و عملکردی دستگاه نتیجه گرفت:

- دمای سردخانه تاثیر معنی داری بر تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی و همچنین تاخیر زمانی در قطع سامانه تزریق گاز پس از رسیدن به غلظت مورد نظر دارد.
- با افزایش نسبت CO<sub>2</sub> نسبت به دو گاز دیگر، خطای سامانه برودتی افزایش می یابد و از طرف دیگر

با توجه به این که محفظه سردخانه ای ساخته شده به صورت سفارشی و توسط شرکت سازنده سردخانه های صنعتی ساخته شده بود، این محفظه سردخانه ای از لحاظ عایق بندی هوایی به خوبی طراحی و ساخته نشده و استفاده از فوم و نوارهای درزگیر نیز نتوانست عایق بندی را بخوبی انجام دهد و پس از مدتی ترکیب گازهای داخل محفظه تغییر می کرد که سامانه کنترل خودکار بر اساس دستور حس گرهای نصب شده در داخل محفظه، فرمان تزریق گاز را صادر می نمود، پس از هر بار تزریق، تا رسیدن محفظه به حالت تعادل زمانی کوتاهی سپری می شود و در لحظه تزریق دی اکسید کربن دمای محفظه سردخانه به سرعت به اندازه ۲-۳ درجه پایین می آمد که می تواند موجب وارد آمدن تنش به محصول گردد. دستیابی

برودتی نسبت به مقدار دمای تنظیمی ۱۹/۸۷ درصد به دست آمد.

- ساخت محفظه سردخانه بصورت چند تکه، مانع از ایجاد عایق بندی هوایی مناسب گردید. لذا برای حصول به نتیجه مناسب تر نیازمند محفظه های ریخته گری شده و یک تکه می باشد.

تاخیر زمانی در قطع سامانه برودتی کاهش پیدا می کند. کاهش شدید دما در داخل محفظه سردخانه با تزریق گاز CO<sub>2</sub> موجب افزایش خطای سامانه برودتی می شود.

- سامانه تزریق گاز با خطای میانگین ۱۷/۵۵ درصد قابلیت تنظیم ترکیب گازهای درون محفظه سردخانه را دارا می باشد. میانگین خطای سامانه

## REFERENCES

- Antmann, G., Ares, G., Lema, P., and Lareo, C. (2008). Influence of modified atmosphere packaging on sensory quality of shiitake mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*, 49:164-170.
- Arthey, D. and Dennis, C. (1991). Controlled atmosphere and modified atmosphere packaging. In: vegetable processing. PP.133-134, 149. USA: *VCH Publisher, New York*.
- Exama, A., Arul, j. , Lenchi, R. and Li, Z. (1993). Suitability of various plastic films for modified atmosphere packaging of fruit and vegetables. *Journal of Food Science*. 58(6) 1365-1370.
- Fabio Donato, S. , A. Genena , D. Dantela and H. Moreira. (2008). Study of banana trigger ripening for small scale process. *Brazilian archives of biology and technology*, Vol. 51, N. 5.
- Fellows, PJ. (1990). Controlled and modified atmosphere storage. In: Food Processing Technology. PP. 396-371. *Ellis Horwood London*.
- Kader, A. A., (1986). Bio chemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmosphere on fruits and vegetables. *Food Technology*, 40(5): 99-104.
- Lopez, Briones, G., Varoquaux, p. Bureau, G., Pascat, B. (1993). Modified atmosphere packaging of common mushroom. *International Journal of Food Science & Technology*, 28(1):57-68.
- Mittal, G.S. (1997). Process controls in the food industry: Problems and solutions. In Computerized Control Systems in the Food Industry, 1-11. New York, NY: *Dekker MarcellInc*