نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

طراحی و ساخت دستگاه بسته‌بندی با قابلیت وکیوم و تزریق گاز

محمود سلطانی‌فیروز[۱]، اسداله اکرم[۲*]، مجید خانعلی[۳]، سیدحسن پیشگرکومله[٤]

۱ و ٤- دانشجوی دکتری گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

۲ و ۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی دانشکده مهندسی و فناوری دانشگاه تهران

ایمیل مکاتبه کننده: aakram@ut.ac.ir

چکیده

بسته‌بندی یکی از شاخه‌های پرکاربرد و درآمدزا در صنعت و کشاورزی می‌باشد. در حال حاضر با عدم رشد مناسب و توجه کافی به صنعت بسته‌بندی ده‌ها میلیون تن از محصولات کشاورزی ایران از بین می‌رود یا اینکه عمرشان کاهش می‌یابد.در سال‌های اخیر با پیشرفت روش‌های بسته‌بندی و استفاده از شیوه‌های نوین، استفاده از اتمسفر اصلاح شده رو به گسترش است. مفهوم اتمسفر اصلاح شده شامل مکش هوای داخل بسته توسط خلا، تزریق گاز و تراوایی کنترل شده بسته است که فعالیت‌های شیمیایی، آنزیمی و میکروبی داخل بسته کنترل می‌شود. مهمترین ایراد دستگاههای نیمه اتوماتیک ارائه شده به بازار نیاز آنها به یک اتاقک ایزوله برای انجام عملیات MAP می‌باشد. در حالی که اگر وکیوم و تزریق مستقیما داخل بسته اعمال شود، بسیار مناسب‌تر است. برای حل این مساله یک نمونه دستگاه رومیزی MAP ارائه گردید که در بخش کنترلی دستگاه، عامل فشار دوخت و زمان دوخت ثابت و به ترتیب برابر ۸-٦ bar و ۳ ثانیه فرض شده است، بنابراین تنها عامل دمای دوخت به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. پس از ساخت دستگاه پنجاه بسته پلی‌مری با روکش آلومینیوم طی فرایند قرار گرفت که در همه موارد وکیوم، تزریق و درزبندی مطلوب انجام شد.

واژه‌های کلیدی: بسته‌بندی، روش MAP، دستگاه بسته بندی وکیوم

مقدمه

صنعت بسته‌بندی یکی از شاخه‌های پرکاربرد و درآمدزا در زمینه‌های مختلف صنعتی و کشاورزی می‌باشد. گسترش این صنعت کمک شایانی به رشد اقتصادی و ایجاد اشتغال در کشور خواهد کرد. به طور مثال با انجام بسته‌بندی مناسب یک محصول کشاورزی، آن را می‌توان در بازارهای خارجی با قیمت بالاتر به فروش رساند، بازارهای خارجی منطقه‌ای و جهانی را در اختیار گرفت و عوایدی را نصیب کشور نمود. همین امر زمینه‌مناسبی را برای اشتغال‌زایی فراهم می‌کند. در صورتی که در حال حاضر با عدم رشد مناسب و توجه کافی به صنعت بسته‌بندی ده‌ها میلیون تن از محصولات کشاورزی ایران از

بین می‌رود یا اینکه عمرشان کاهش می‌یابد، در حالی که با بسته‌بندی حداقل ۵۰ درصد از خسارات ناشی از ضایعات محصول کاهش می‌یابد(بی‌نام، ۱۳۹۳)، حمل و نقل محصول با سرعتبیشتر و امنیت بیشتر انجام می‌شود و همچنین سرعت توزیع محصول افزایش می‌یابد. در ادامه بحث بسته‌بندی در زمینه صنایع غذایی مطرح می‌شود.

انواع مواد بسته‌بندی

ماده بسته‌بندی برای انجام این عملیات به نوع ماده غذایی بستگی دارد. به عنوان مثال مواد غذایی که به رطوبت و اکسیژن حساس هستند نیاز به بسته‌هایی با مقاومت نفوذ کافی و مناسب دارند، در صورتی که مواد غذایی اسیدی در بسته‌هایی با آستر مناسب نگه‌داری شوند. مشتقات کاغذی، شیشه، ظروف و بسته‌های فلزی و مواد پلیمری عمدتا در صنعت بسته‌بندی استفاده می‌شوند. مواد پلیمری به خاطر خواص فیزیکی و شیمیایی مناسب و در عین حال متنوعی که دارند به طور رایج در صنایع غذایی استفاده می‌شوند. رشد صنعت پلی‌مر و تولید انواع محصولات پلیمری، انتخاب مناسب نوع بسته را متناسب با ماده غذایی فراهم نموده است. اما تجزیه‌پذیری مواد پلاستیکی در طبیعت به زمان زیادی نیاز دارد که این موضوع اهمیت بازیافت مواد پلی‌مری را نشان می‌دهد. با پیشرفت فناوری موادی با تجزیه‌پذیری مناسب به بازار عرضه شده‌اند که می‌توانند جایگزین مواد پلاستیکی شوند. پلاستیک‌های پلی‌لاکتاید اسید[1]، مواد تولیدی از باگاس، فیبر پالم، کامپوزیت‌های فیبری، مواد ترموپلاستیکی نانو و مواد خوردنی با پایه نشاسته‌ای می‌توانند جایگزین مواد پلاستیکی در صنعت بسته‌بندی شوند(Mahalik, 2005).

بسته‌بندی اتمسفر اصلاح‌شده (MAP)[2]

یکی از روش‌های محافظت از مواد فاسدشدنی بسته‌بندی می‌باشد. ولی وجود هوا درون بسته یکی از عوامل فساد ماده غذایی می‌باشد. بنابراین، تخلیه هوا و تزریق گازهای بی اثر درون بسته غذایی یک راه حل برای مقابله با رشد باکتری‌ها می‌باشد. در سال‌های اخیر با پیشرفت روش‌های بسته‌بندی و استفاده از فناوریهای نوین استفاده از MAP رو به گسترش است.تکنولوژی MAP شامل مکش هوای داخل بسته توسط خلا، تزریق گاز و تراوایی کنترل شده بسته است که فعالیت-های شیمیایی، آنزیمی و میکروبی داخل بسته را کنترل می‌کند. به عبارت دیگر روش MAP به معنی وارد کردن اتمسفر در یک بسته حاوی ماده غذایی با نسبت مشخص دی‌اکسیدکربن، نیتروژن و اکسیژن می‌باشد. روش MAP در گستره وسیعی از محصولات غذایی شامل غذاهای نیم پخته و پخته شده، میوه‌ها و سبزیجات تازه استفاده می‌شود(Brody et al., 2012).

مزایای بسته بندی MAP

رشد سریع فروش محصولاتMAP مزایای این تکنولوژی را نسبت به اشکالات آن برای تولید کننده، عوامل فروش و مشتری به وضوح نشان می‌دهد(Blakistone, 1999).

* افزایش دوره ماندگاری زمان بیشتری را برای توزیع و فروش در اختیار می‌گذارد.
* کاهش ضایعات در زمان توزیع و فروش
* شکیل جلوه دادن محصول و ارائه دید واضح و روشنی از کل محصول.

[1] - Polylactide Acid Plastic (PLA)
[2]- Modified atmosphere packaging

* قابلیت بهتر چینش، بسته‌بندی بهداشتی و مهر و موم شده که مانع پخش رایحه آن می‌شود.
* جدا کردن آسان محصولات خرد شده
* عدم نیاز یا نیاز کم به نگهدارنده‌های شیمیایی
* افزایش حوزه توزیع و کاهش هزینه حمل و نقل با توجه به مقدار بیشتر تحویل مکرر کمتر
* کاهش در هزینه تولید و ذخیره سازی به علت استفاده بهتر ازکار، فضا و تجهیزات .

دستگاه وکیوم نیمه اتوماتیک

این دستگاه‌ها به منظور بسته‌بندی محصول در تعداد کم و حجم کم طراحی می‌شود. در این روش اپراتور محصول را درون کیسه‌های پلیمری گذاشته و به طور دستی درون دستگاه قرار می‌دهد. سپس با دادن فرمان به ماشین عملیات وکیوم، تزریق و دوخت بسته انجام می‌شود.

مهترین مشکل این نوع دستگاهها نیاز آنها به یک اتاقک ایزوله برای انجام عملیات MAPمی‌باشد. عملیات وکیوم درون فضای اتاقک انجام می‌شود و چون اتاقک انعطاف‌پذیر نیست عمل وکیوم به طور کامل انجام نمی‌شود و مقداری هوا درون اتاقک باقی می‌ماند، در حالی که اگر وکیوم و تزریق مستقیما داخل بسته اعمال شود، بسیار مناسب‌تر است. برای حل این مساله ارائه یک نمونه دستگاه رومیزی MAP ارائه گردید.

مواد و روش‌ها

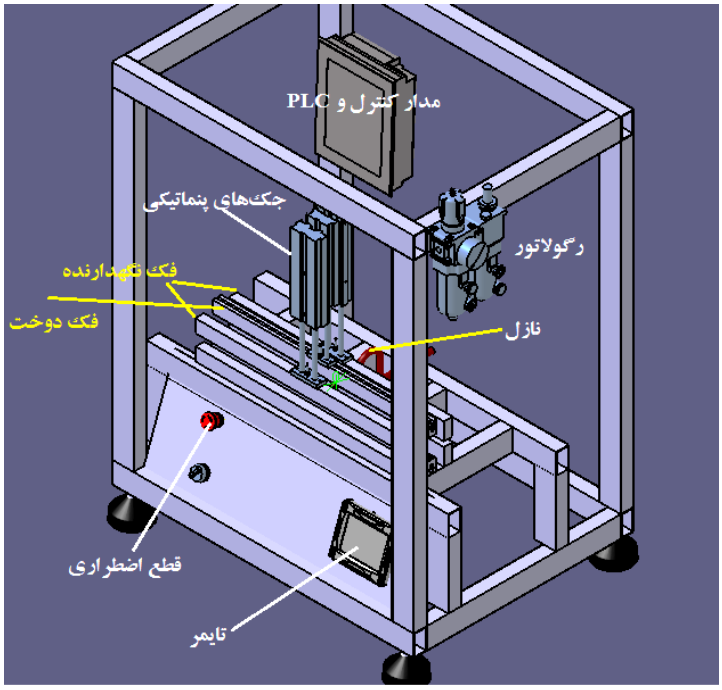
دستگاه بسته‌بندی پیشنهادی شده شامل بخش‌ها و قطعات زیر است:

بدنه، فک‌های نگهدارنده شامل فک ابندایی و انتهایی، فک دوخت که عملیات دربندی بسته را انجام می‌دهد، بخش پنماتیک شامل جک‌های پنماتیک، شیرهای پنماتیک، بخش تزریق و وکیوم شامل پمپ وکیوم، نازل، شیرهای وکیوم و تزریق و بخش کنترلی شامل PLC، رله‌های فرمان، میکروسوییچ‌ها، تایمر و قطع اضطراری.

هر یک از این موارد در ادامه به تفصیل توضیح داده می‌شود:

بدنه

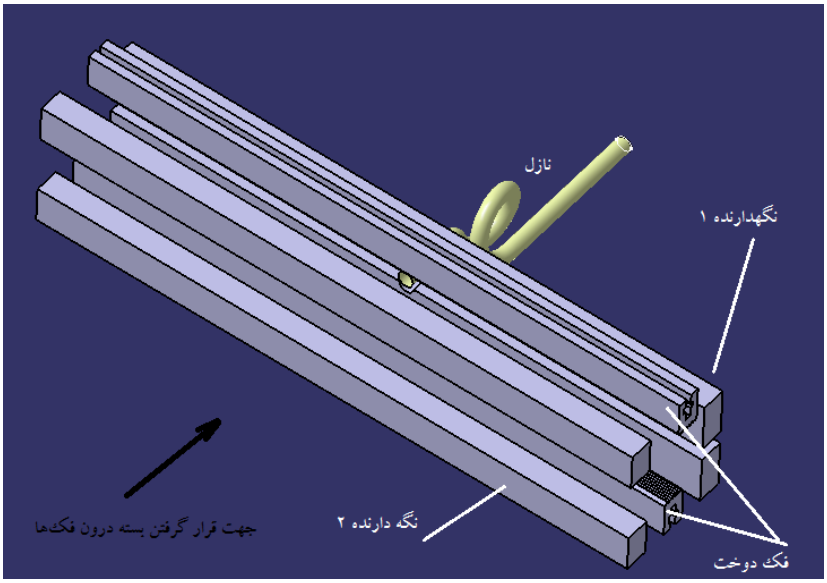
با توجه به اینکه عملیات وکیوم و تزریق نیاز به درزبندی با کیفیت مطلوب دارد، لذا در طی این عملیات هر گونه نشتی گاز باعث افت کیفیت کار می‌شود. یکی از عوامل نشتی، خمش بخشی از بدنه ناشی از نیروی جک‌ها می‌باشد.بنابراین بدنه دستگاه از پروفیل ۳۰×۵۰ ساخته شد. شکل ۱ نمایی از بدنه مدل شده در محیط کتیا را نشان می‌دهد.



شکل ۱.نمایی از بدنه دستگاه MAP پیشنهادی.

فک‌های نگهدارنده

برای جلوگیری از نشتی گاز و نفوذ هوای محیط به داخل بسته در حین انجام عملیات، از دو جفت فک نگهدارنده استفاده شده است، به طوری فک دوخت بین این دو فک قرار می‌گیرد (شکل۲).



شکل۲– ترتیب قراگیری فک‌های نگهدارنده و فک دوخت.

پس از آنکه بسته دورن فک‌ها و نازل درون بسته قرار گرفت، نگهدارنده ۱ بسته شده و لبه پلیمر درزبندی می‌شود. سپس وکیوم و تزریق انجام شده، نگهدارنده ۲ بسته شده و نگهدارنده ۱ باز می‌شود، در این حالت گاز داخل بسته محبوس می‌شود. در نهایت فک دوخت بسته شده و درزبندی انجام می‌شود. پس از ۳ ثانیه فک دوخت باز شده و بعد از ده ثانیه

نگهدارنده ۲ نیز باز می‌شود و فرایند تکمیل می‌شود. زمان ده ثانیه برای سرد شدن محل دوخت و جلوگیری از سوراخ شدن درز پلی‌مری در نظر گرفته شده است.

فک دوخت

در اکثر موارد فک‌های دوخت به وسیله جریان برق گرم می‌شوند، یک یا چند المنت حرارتی درون فک قرار داده می‌شود و با گرم شدن المنتها به وسیله جریان برق، فک‌ها نیز به انداز کافی داغ می‌شوند و سپس با فشار بر روی فیلم دوخت حرارتی را انجام می‌دهند. در این روش انجام دوخت، مشکل چسبیدن پلیمر به فکها وجود دارد که با قرار دادن یک نوار نازک از جنس سلیکون لاستیکی یا پلی‌تترافلوئوراتیلن (تفلون) بین فکهای ماشین قابل رفع است. در این طرح از فک‌های پوشیده شده با لایه تفلون استفاده شده است.

عواملی که در استحکام و کیفیت دوخت موثرند عبارتند از دمای فک، فشار اعمال شده بر فیلم بسته‌بندی و مدت زمان انجام دوخت. این پارامترها را می‌توان به صورت دستی و یابه شکلخودکار کنترل کرد.در کنترل پارامترهای موثر نیاز نیست که هر سه فاکتور را متغیر در نظر گرفت. در بخش کنترلی دستگاه ساخته شده عامل فشار دوخت و زمان دوخت ثابت و به ترتیب برابر ٦–۸ bar و ۳ ثانیه فرض شده است، بنابراین تنها عامل دمای دوخت به عنوان متغیر در نظر گرفته شده است. در ساختمان هر یک از فک‌های دوخت یک المنت ۵۰۰ وات تعبیه گردید و دو المنت به صورت سری به هم و به برق شهر وصل شد، بنابراین توان هر المنت با فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\frac{1}{R_T}=\frac{2}{R}\Rightarrow R_T=\frac{1}{2}R=250\,W \quad\Longrightarrow\quad \frac{1}{R_T}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2},\quad R_1=R_2=R=500\,W \qquad (۱)$$

که در آنR, R1, R2= مقاومت هر یک از المنت‌ها (Ω) و

RT= مقاومت کل (Ω)

و چون هر المنت به طور جداگانه درون هر یک از فک‌ها قرار می‌گیرد، توان مصرفی برای هر فک برابر ۱۲۵ W خواهد بود. از یک دیمر ۱ kW نیز برای کنترل دمای فک‌ها استفاده شده است. طرز کار دیمر به این صورت است که از یک پتانسیومتر برای تنظیم مقدار تغذیه ولتاژ به المنت‌ها استفاده می‌کند. هر چه مقدار زاویه پتانسیومتر بیشتر باشد مقدار ولتاژ به حد ماکزیمم نزدیکتر است. برای کالیبراسیون دیمر از حسگر دمای LM35 استفاده شده است. ولتاژ خروجی از حسگر تابعی خطی از دمایی است که حس می‌کند. برای اندازه‌گیری ولتاژ حسگر از یک مولتی‌متر دیجیتالی استفاده شد. برای استخراج رابطه کالیبراسیونی، حسگر روی بخش میانی فک دوخت و تحت فشار قرار داده شد، به طوری که تماس مناسبی بین حسگر و فک برقرار شود. میزان چرخش پتانسیومتر ۲۸۸ درجه می‌باشد که بین حد مینیمم و ماکزیمم ولتاژ تغذیه می‌باشد. این مقدار زاویه به پنج قسمت تقسیم گردید. در حالت اول پتانسیومتر روی زاویه مینیمم تنظیم شد و ولتاژ حسگر اندازه-گیری شد. اندازه‌گیری تا زمانی ادامه داشت که ولتاژ قرائت شده به مقدار ثابتی برسد (زمان تعادلی حدود پانزده دقیقه بوده است). این فرایند برای زوایای دیگر نیز تکرار شد.

شکل ۲ فک‌های طراحی شده برای دستگاه را نشان می‌دهد. عرض دوخت و پهنای دوخت به ترتیبmm ۲۰ و cm ۵۰ در نظر گرفته شد.

بخش پنماتیک

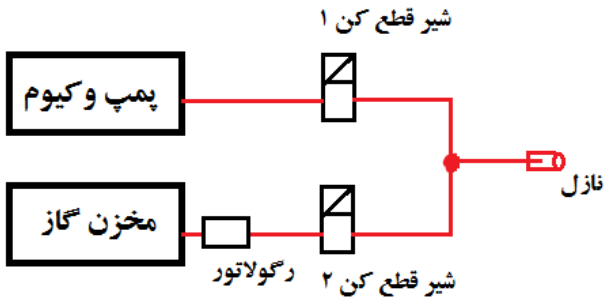
در این بخش از سه جک پنماتیکی کتابی ۱۰۰× (ϕ) ۲۰ میلی‌متر ، سه شیر پنج‌راهه دوحالته(۲×۵) تک بوبین مدل 4A210-8استفاده شده است. از یک رگولاتور فشار مدل UFRL02 برای تنظیم فشار تغذیه جک‌ها استفاده شده است. این قطعات ساخت شرکت پایا اتوماسیون می‌باشد. با توجه به کارکرد ۸–٦ bar (مقدار متوسط ۷ bar) کمپرسور و نسبت سطح جک و سطح فک‌ها داریم(محتسبی و بهروزی لار، ۱۳۸۸):

$$A_1=\frac{\pi d^2}{4}=\frac{3.14\times(20)^2}{4}=314mm^2$$
$$A_2=L\times W=20\times500=10000\ mm^2$$
$$F=P_1A_1=P_2A_2\Rightarrow P_2=\frac{P_1A_1}{A_2}$$
$$P_1=6bar$$
$$P_2=\frac{6\times314}{10000}=18.8\ kPa \qquad (۲)$$

بنابراین می‌توان فشار گاز ترزریقی را حداکثر تا ۱۸kPaتنظیم نمود. این فشار باید به اندازه‌ای باشد که باعث پس زدن فک-های نگهدارنده نگردد.

تزریق و وکیوم

برای وکیوم هوای داخل بسته و تزریق گاز یک نازل طراحی گردید. نازل طوری طراحی شده است که بین فک‌های نگهدارنده اول و بین لبه‌های بسته قرار گرفته و و با فشار فک یک درزبندی مناسب بین نازل و بسته انجام می‌شود. نازل به شکل یک فنر مارپیچ و از جنس برنج ساخته شده تا انعطاف لازم را در مقابل فشار ناشی از فک نگهدارنده داشته باشد. نازل روی یک پایه نصب گردید تا قابلیت تنظیم فاصله بین فک و نازل حفظ گردد. یک پمپ وکیوم با فشار مکشی حداکثر ۵ Pa برای دستگاه انتخاب گردید. شماتیک مدار وکیوم و تزریق در شکل ۳نشان داده شده است. شیرهای ۱ و ۲ در حالت نرمال بسته استفاده شده‌اند. برای انجام عملیات مکش و تزریق ابتدا شیر ۱ و پمپ وکیوم روشن شده و پس از طی یک زمان مشخص که زمان وکیوم می‌باشد خاموش می‌شوند. زمان وکیوم تابعی از حجم بسته می‌باشد و توسط اپراتور وبه وسیله یک تایمر تنظیم می‌شود. در مرحله بعد شیر ۲ باز می‌شود که همان مسیر تزریق گاز می‌باشد. گاز با فشار رگوله شده داخل بسته پر می‌شود و فرایند تزریق نیز به پایان می‌رسد.



شکل۳– شماتیک وکیوم و تزریق.

بخش کنترلی

این بخش شامل یک PLC(Fatek, B1-20/24M) ، منبع تغذیه ۲٤ ولت، پنج عدد رله فرمان ۲٤ ولتی، یک رله ۲۲۰ ولتی، رگولاتور ka7424 ، کلید خاموش و روشن، ۲ میکرو سوئیچ، یک کلید قطع اضطراری و سوئچ پدالی می‌باشد. میکروسوییچ-

ها روی بخش پایینی نگه‌دارنده ۱ و ۲ نصب شدند. هدف از نصب این دو میکروسوییچ تشخیص زمان پایین آمدن نگه-دارنده‌ها بوده است. زیرا فرایند بسته‌بندی باید به طور ترتیبی انجام شود و نباید هیچ‌گونه تداخل زمانی بین جک‌ها و زمان وکیوم ایجاد گردد. زمانی که نگه‌دارنده ۱ پایین می‌آید میکروسوویچ ۱ روشن شده و یک سیگنال ۲٤ ولت به PLCفرستاده و بنابراین برنامه متوجه درگیرشدن فک ۱ می‌گردد. سپس دستور روشن شدن به رله پمپ وکیوم و شیر قطع کن مرتبط با آن ارسال می‌گردد. زمان وکیوم نیز توسط یک تایمر از صفر ثانیه تا ۱۲ ثانیه قابل تنظیم است. پس از انجام وکیوم جک ۱ بالا رفته و نگه‌دارنده ۲ پایین می‌آید. میکروسوییچ ۲ نیز سیگنال ۱۲ ولتی به PLC می‌فرستد و سپس فک دوخت فرمان پایین آمدن را دریافت کرده و دوخت حرارتی را انجام می‌دهد و پس از ۳ ثانیه بالا می‌رود. نگه‌دارنده ۲ نیز پس از ده ثانیه دیگر بالا می‌رود.

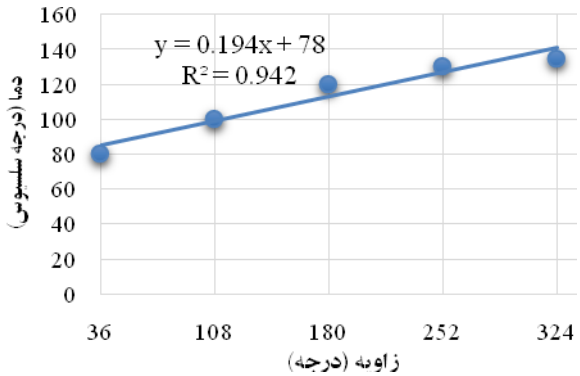
نتایج و بحث

شکل زیر دستگاه MAP ساخته شده را نشان می‌دهد.

شکل٤- دستگاه MAP طراحی شده برای انجام بسته‌بندی محصولات مختلف.

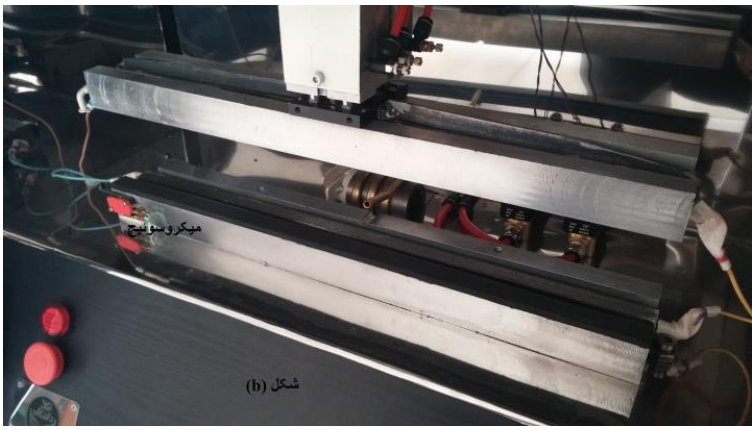
برای کالیبره کردن دیمر حرارتی ارتباط بین مقدار زاویه و دمای المنت‌ها استخراج گردیده و علامت‌گذاری مورد نیاز انجام شد. هر یک از این نقاط روی یک پلاک استیل حک شده و روی پنل دستگاه و دیمر نصب گردید (شکل ۵ و شکل ٦). اپراتور با چرخاندن پتانسیومتر روی هر یک از این‌دماها می‌تواند دوخت مورد نظر را انجام دهد.

شکل ٥- نمایی از پنل فرمان دستگاه MAP.



شکل ٦- نمودارکالیبراسیونی کنترل دمای فک‌های دوخت.

برای داشتن یک عملیات موفق در وکیوم و تزریق، مهمترین مسئله کنترل نشتی حین فرایند می‌باشد. طرح زیر به خوبی توانست این نکته را فراهم کند. لایه پلیمر با قرار گرفتن بین نازل و نشیمن آن به عنوان یک واشر عمل کرده و یک درزبندی مناسب و بدون نشتی شکل می‌گیرد (شکل ۷).



شکل ۷– طرح ارائه شده برای نازل به منظور کنترل نشتی.

پس از ساخت دستگاه، بسته‌های پلیمری با روکش آلومینیوم طی فرایند قرار گرفت که در همه موارد وکیوم، تزریق و درزبندی مطلوب انجام شد.

نتیجه‌گیری

در این طرح یک نمونه از دستگاه بسته بندی رومیزی MAP ارائه گردید. این روش بسته بندی در حفظ و افزایش محصولات کشاورزی و مواد غذایی بسیار موثر است. دستگاه حاضر به خوبی توانست عملیات وکیوم، تزریق و دوخت را انجام دهد. از این دستگاه می‌توان برای بسته بندی بسیاری از محصولات کشاورزی و غذایی استفاده نمود. عرض بسته می-تواند حداکثر تا ۵۰ cm انتخاب گردد.

منابع و مآخذ

۱. بی‌نام. ۱۳۹۳. کاهش ۵۰ درصدی ضایعات کشاورزی در گرو بسته‌بندی. <http://www.isna.ir/fa/news/93031707859>.

۲. محتسبی، س. بهروزی لار، م. ۱۳۸۸. اصول طراحی دستگاههای بادی. مرکز علمی انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی.

3. Brody, A. L. Zhuang, H. and Han, J. H. 2012. Modified Atmosphere Packaging for Fresh-Cut Fruits and vegetables. Blackwell Publishing Ltd, UK.

4. Blakistone, B. A. 1999. Principles and Applications of Modified Atmosphere Packaging of Foods. Aspen publisher, Inc, Maryland, USA.

5. Mahalik, N. P., 2009. Processing and packaging automation systems: a review. Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety, Vol. 3, No. 12-25.

Design and manufacture of packaging machines, vacuum and gas injection capabilities

Abstract

Packaging is one of the most important branches with high income of industry and agriculture which is widely used. Currently, with the lack of proper and adequate attention to the packaging industry about ten million tons of agricultural products lost. In recent years with the development of packaging and the use of modern methods, the use of modified atmosphere methods is increasing. The concept of modified atmosphere packaging includes the vacuum of the air, gas injection and the controlled permeability which control the activity of the chemical, enzymatic and microbial activity inside the package. One of the most important defects in the semi-automatic machines which have been delivered to the market is the need of isolated chamber for MAP operation. However, it is much better if the vacuum and injection operation have been done directly into the package. To solve this problem, a typical desktop machine of MAP was presented which the pressure of the sewing and stitching time was assumed as constant parameters with values of 6-8 bar and 3 seconds, respectively. So, the only variable was sewing temperature. Finally, the operation of manufactured machine was tested by 50 packages.

Keywords: Packaging, MAP method, vacuum packaging machine.