

ارزیابی عملکرد یک خشک‌کن کنترل اتمسفر و مقایسه آن با سیستم نرمال

حامد همایونفر^۱، رضا امیری چایجان^{۲*}، حسن ساری‌خانی^۳

^۱دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (H.Homayounfar87@gmail.com)

^۲دانشیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (amirireza@basu.ac.ir)

^۳استاد گروه باغبانی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (sarikhanih@gmail.com)

چکیده

در این پژوهش ابتدا یک سیستم خشک‌کن با قابلیت کنترل اتمسفر ساخته شد و سپس ورقه‌های پرتقال با دو روش کنترل و نرمال اتمسفر خشک شدند. در روش کنترل اتمسفر، فضای داخل مخزن با تزریق گاز نیتروژن به عنوان یک گاز خنثی به منظور کاهش فرآیند اکسیداسیون پر شد. ابتدا آزمایش‌های کنترل و نرمال اتمسفر در دمای ثابت 65°C و فشارهای ۴۰، ۶۰ و 80 kPa انجام شد. همچنین آزمایش‌ها در فشار ثابت 60 kPa و دماهای ۴۵، ۶۵ و 85°C نیز انجام شدند. نتایج نشان داد که تزریق گاز نیتروژن، اثر معناداری در افزایش ضریب نفوذ موثر رطوبت و حفظ بیشتر اسید اسکوربیک (ویتامین ث) داشت.

کلمات کلیدی:

پرتقال، خشک‌کن خلایی، کنترل اتمسفر، ویتامین ث

*نویسنده مسئول: amirireza@basu.ac.ir

ارزیابی عملکرد یک خشک‌کن کنترل آنمسفر و مقایسه آن با سیستم نرمال

مقدمه

خشک کردن که تقریباً به‌عنوان مهم‌ترین و محبوب‌ترین روش برای نگهداری مواد غذایی پس از برداشت شناخته می‌شود، با حذف رطوبت از بافت، نه تنها از عملکرد بسیاری از باکتری‌ها و تجزیه‌های پایه آبی جلوگیری می‌کند، بلکه هزینه‌های بسته‌بندی، انبارداری و انتقال را به حداقل می‌رساند [۱، ۲]. عوامل زیادی بر کیفیت و زمان خشک شدن اثر گذارند. به‌صورت معمول فرآیند خشک کردن با هوای گرم زمان‌بر است و پژوهش‌های پیشین نشان داده است که نرخ خشک کردن با افزایش دمای هوا، سرعت جریان هوا و کاهش رطوبت نسبی هوا افزایش می‌یابد. همچنین عواملی مانند دمای هوای، مقدار رطوبت بافت و فعالیت آبی بر روی کیفیت مواد غذایی اثرگذار است. عوامل جانبی مانند سطح اکسیژن، فشار و ترکیبات غذایی بر روی کیفیت نهایی محصول تولیدشده اثرگذار هستند که می‌توان با مدیریت آن‌ها به کیفیت بالاتری دست یافت [۳].

از آنجایی که میوه‌ها و سبزی‌ها سرشار از انواع مواد معدنی و ویتامین‌ها هستند، نقش مهمی در رژیم غذایی انسان دارند [۴]. اما به دلیل محتوای رطوبتی بالایشان به‌عنوان مواد زودفاسدشدنی دسته‌بندی می‌شوند. خشک کردن یک فرآیند کلیدی در صنایع غذایی و در اکثر کشورهای جهان است. مقدار قابل توجهی از مواد غذایی به‌منظور افزایش عمر ماندگاری، کاهش هزینه‌های بسته‌بندی و کاهش هزینه حمل‌ونقل با اهداف بهبود کیفیت ظاهری، حفظ طعم اولیه و محافظت از مواد غذایی آن خشک می‌شود [۵، ۶].

خشک‌کن‌های هواگرم با هزینه اولیه پایین و ظرفیت خشک کردن بالا، ۸۵٪ از سهم بازار جهانی را به خود اختصاص داده است [۷]. اما آنچه این مدل خشک‌کن‌ها را محدود می‌کند مصرف انرژی بالا، بازده پایین و از همه مهم‌تر عملکرد نامناسب خشک‌کن هواگرم بر روی مواد غذایی است. خشک کردن، یک پدیده پیچیده است که انتقال جرم و حرارت هم‌زمان باهم رخ می‌دهد و در همین اثنا انواع فرآیندهای شیمیایی نیز در حال انجام شدن است که تقریباً ۱۲ تا ۲۰٪ از مصرف انرژی در صنعت تولید شامل این بخش می‌شود. کیفیت محصول از نظر ویژگی‌های غذایی، عملکردی و حسی از دیگر دغدغه‌های مهم است. با استفاده از روش‌های رایج خشک کردن که با تکیه بر حالت‌های انتقال حرارت همرفتی ساده انجام می‌شود، کیفیت محصول نهایی پایین خواهد بود و احتمال آلودگی محصول افزایش می‌یابد [۸]. لذا در سال‌های اخیر پژوهش‌های متفاوتی توسط محققان زیادی در مورد پیشنهاد روش‌های کارآمدتر، ساده‌تر و کم‌هزینه‌تر انجام شده است [۹-۱۱].

در بین روش‌های خشک کردن انفرادی (Solo Dryer) همواره خشک‌کن‌ها خلأی جایگاه ویژه‌ای در بین مابقی روش‌ها داشته‌اند [۷، ۱۲]. اما اخیراً محققین زیادی تلاش کرده‌اند که خشک‌کن خلأی را با روش‌های دیگر ترکیب کنند که در این بین موفقیت‌هایی نیز حاصل شده است [۴، ۱۵-۱۳]. با تزریق گازهای خنثی یا پایدارمانند CO_2 و N_2 به جای اتمسفر عادی می‌توان از واکنش‌های نامناسب جلوگیری کرد. حتی در مواردی گزارش شده است که خشک شدن در اتمسفر N_2 ، نرخ خشک شدن، انتقال جرم و حرارت بالاتری به دست می‌آید. در گزارشی اشاره شده است که با تزریق CO_2 و N_2 ، قهوه‌ای شدن و چروکیدگی کاهش یافته و باز آبیوشی سریع‌تر رخ داده است [۱۶].

جمعی از محققین، با ارتقا یک خشک‌کن با تزریق گازهای CO_2 و N_2 در یک سیکل بسته موفق به خشک کردن توت‌فرنگی شدند. در این پژوهش، سرعت جریان هوا، دمای خشک‌کن و سطح اکسیژن، بهینه شدند. نتایج نشان داد

که عملکرد این خشک کن از مدل هوای گرم بهتر بوده اما با ۴۰٪ مصرف انرژی کمتر، عملکردی مشابه خشک کن انجمادی داشته است [۳].

در یک مطالعه، پالپ گوجه فرنگی تحت اتمسفر اصلاح شده (CO_2 و N_2) خشک شد و تأثیر شرایط خشک شدن بر رنگ، محتوای جامد محلول و میزان خشک شدن مورد بررسی قرار گرفت. اتمسفر اصلاح شده با تزریق گازها به نوعی از خشک کن کابینتی آزمایشگاهی، انجام شد. مقایسه‌هایی بین اتمسفر اصلاح شده، هوا و نمونه‌های خشک شده در خلا انجام شد. نتایج نشان داد که افزایش دمای خشک کن، در محدوده 60°C - 80°C ، به طور قابل توجهی میزان خشک شدن پالپ گوجه فرنگی را افزایش داد. قرمزی پالپ گوجه فرنگی خشک شده از نظر مقدار a^* به ترتیب در خشک شدن خلأی، خشک شدن نیتروژن، خشک شدن دی‌اکسید کربن و خشک شدن هوا افزایش یافت. مقدار مواد جامد در محلول در اتمسفرهای اصلاح شده دو برابر بیشتر از هوا بود [۱۷].

نتایج یک مطالعه در مورد خشک کردن فندق استرالیایی با خشک کن چندمرحله‌ای پمپ حرارتی تحت شرایط اتمسفر اصلاح شده نشان داد که خشک کردن پمپ حرارتی چندمرحله‌ای تحت اتمسفر اصلاح شده (N_2) مزایایی در حفظ کیفیت طبیعی فندق استرالیایی دارد. استفاده از نیتروژن می‌تواند به میزان قابل توجهی در کاهش اسیدهای چرب اشباع نشده کمک کند. اگرچه تغییرات رنگ و اسیدهای چرب، بسیار وابسته به دما در حین خشک شدن هستند، اما در خشک کردن پمپ حرارتی با سرعت کمتری اتفاق می‌افتد. استفاده از دمای 40°C در مرحله اول خشک شدن تحت نیتروژن و به دنبال آن 60°C با شرایط هوای نرمال در خشک شدن مرحله دوم می‌تواند کیفیت فندق را حفظ کرده و کمترین مصرف انرژی را داشته باشد [۱۸].

با توجه به اینکه هیچ مطالعه‌ای در مورد امکان کنترل اتمسفر داخل مخزن یک خشک کن خلأیی، و همچنین تأثیر کنترل اتمسفر داخل مخزن یک خشک کن خلأیی بر روی ماندگاری اسید اسکوربیک و نرخ خشک شدن ورقه‌های پرتقال انجام نشده است، لذا در این پژوهش ضریب نفوذ موثر رطوبت و ماندگاری اسید اسکوربیک ورقه‌های پرتقال در حین خشک کردن با یک خشک کن خلأیی به دو روش آتمسفر کنترل شده و نرمال از طریق تزریق گاز نیتروژن مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ورقه‌های پرتقال در دمای ثابت 65°C و فشارهای ۴۰، ۶۰ و 80 kPa و همچنین فشار ثابت 60 kPa و دماهای ۴۵، ۶۵ و 85°C خشک شدند.

مواد و روش‌ها

تهیه نمونه

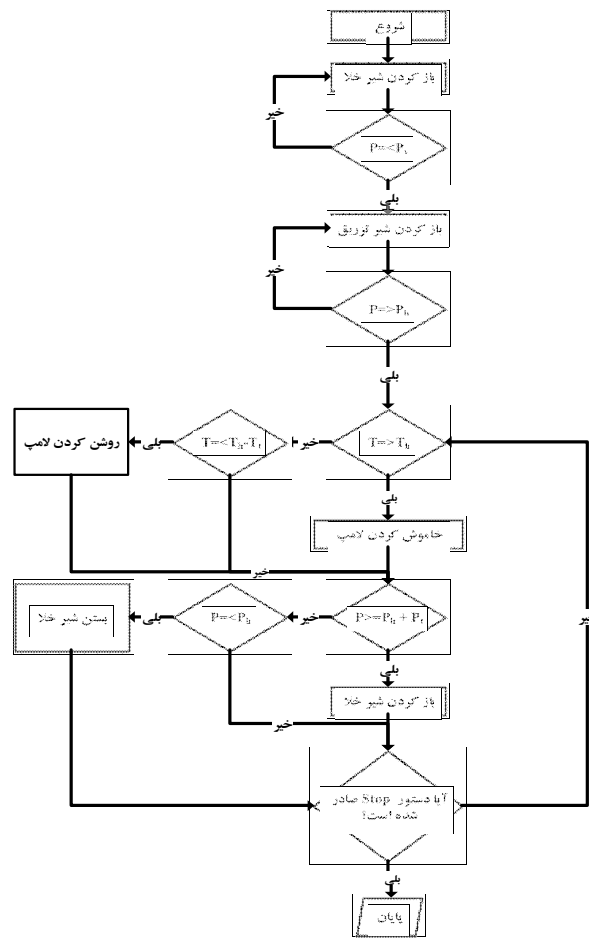
پرتقال تازه از بازار محلی تهیه شد و در طول مدت انجام آزمایش در یخچال در دمای ۵ تا 7°C نگهداری شد. به منظور انجام آزمایش‌ها، پرتقال بعد از پوست‌گیری با تیغه تیز به ورقه‌های ۳ میلی‌متری برش داده شد. ورقه‌های پرتقال بلافاصله بعد از وزن شدن در داخل مخزن خشک کن قرار گرفتند.

خشک کردن

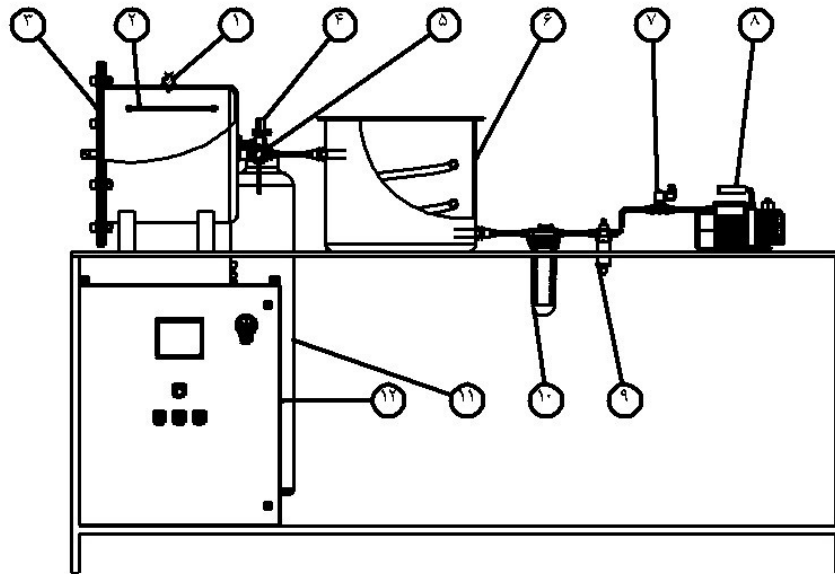
برای این پژوهش، دستگاه خشک کن خلأیی تحت اتمسفر کنترل شده در گروه مهندسی بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا طراحی و ساخته شد. در این خشک کن، یک پمپ خلأیی دیافراگمی، ساخت کشور تایوان (60 CFM)، برای تخلیه یک مخزن استوانه‌ای شکل به قطر و طول ۵۰ cm نصب شد. از چهار عدد لامپ مادون قرمز با توان ۱۰۰۰ W به عنوان منبع حرارتی استفاده شد. توان لامپ‌ها از طریق تغییر ولتاژ آن‌ها توسط دیمرها دیجیتال تغییر می‌کرد. دما و رطوبت هوای داخل مخزن با یک سنسور دیجیتال با دقت $1^\circ\text{C} \pm$ ثبت می‌شد. در مسیر تخلیه هوای مخزن،



یک مبدل حرارتی طراحی و ساخته شد. در انتهای مسیر هوای خروجی، یک سنسور (O2_A2 ساخت کشور انگلستان) تشخیص غلظت گاز اکسیژن، به منظور تعیین درصد اکسیژن داخل مخزن نصب شد. فشار داخل مخزن نیز توسط یک سنسور تعیین فشار مطلق (sensys ساخت کشور کره) در محدود صفر تا یک بار اندازه‌گیری و قرائت می‌شد. از یک شیر برقی برای کنترل تزریق گاز نیتروژن به داخل مخزن استفاده شد. همچنین یک شیر دستی به منظور شکستن فشار داخل مخزن هنگام باز کردن آن در مسیر مکش هوا نصب شد. تمام اجزا دستگاه، توسط یک سیستم میکروکنترلر، مدیریت و کنترل می‌شد. پروتکل عملیاتی میکروکنترلر به شرح شکل ۱ است. شکل ۲ شماتیک دستگاه خشک کن خلایی تحت اتمسفر کنترل شده را ارائه می‌دهد.



شکل ۱- الگوریتم کنترل سیستم خشک کن خلایی کنترل اتمسفر



شکل ۲: تصویر شماتیک خشک کن خلایی کنترل آتمسفر، ۱- سنسور دما و رطوبت اصلی، ۲- لامپ مادون قرمز، ۳- مخزن خشک کن، ۴- شیر برقی تزریق گاز نیتروژن، ۵- سنسور فشار، ۶- کندانسور و مخزن آب ویخ، ۷- شیر برقی تخلیه گاز مخزن، ۸- پمپ خلا، ۹- سنسور اکسیژن، ۱۰- سنسور دما و رطوبت به همراه تله آبگیر، ۱۱- کپسول نیتروژن و ۱۲- تابلو برق و مدار فرمان

نسبت رطوبت

برای تعیین نسبت رطوبت (MR) از معادله (۱) استفاده شد [۱۴].

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

که M ، M_0 و M_e به ترتیب محتوای رطوبت در هر لحظه، رطوبت تعادلی و رطوبت اولیه ($\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{dry matter}}$) است.

ضریب نفوذ مؤثر رطوبت

اصل کار ماده جامد در حال خشک شدن، بر اساس فرآیند نفوذ با مفهوم فیزیکی تأثیر هم‌زمان غلظت و درجه حرارت، در نظر گرفته شد. به طوری که نفوذ در داخل ماده جامد، از لوله‌های موئین متخلخل پر از هوا و منافذ رخ می‌دهد. تا زمانی که بخار از طرف باز لوله موئینه وارد هوا شود، فرآیند نفوذ ادامه دارد. از قانون دوم فیک جهت توضیح انتقال رطوبت از داخل ورقه پرتقال به سطح استفاده شد (رابطه (۲)) [۱۹]:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D_{\text{eff}} \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \quad (2)$$

که D_{eff} ضریب نفوذ مؤثر رطوبت (m^2/s)، t زمان خشک شدن (s) و x موقعیت محوری (m) است.

مقدار ضریب نفوذ مؤثر رطوبت از طریق رسم نمودار داده‌های تجربی عبارت $\ln(MR)$ در مقابل زمان به دست آمد. به طوری که شیب خط برازش شده (K_1) برابر معادله (۳) شد [۲۰].

$$K_1 = \frac{\pi^2}{4L^2} D_{\text{eff}} \quad (3)$$

اسید اسکوربیک

برای اندازه‌گیری اسیداسکوریک، ۰/۲ گرم محصول خشک شده به همراه چند میلی لیتر اسید متافسفریک ۳ درصد به صورت کاملاً یکسان له شد. سپس حجم مخلوط با اسید متافسفریک به ۱۰ میلی لیتر رسانده شد. بعد از عبور دادن از صافی، ۵ میلی لیتر از محلول باقیمانده را برداشته و با رنگ دی کلروفنل ایندوفنل ۰/۰۴ درصد تیترا شد. پایان تیتراسیون، ظهور رنگ ارغوانی کم‌رنگ است که به مدت ده تا پانزده ثانیه پایدار ماند. میزان رنگ مصرف شده در تیتراسیون، یادداشت شده و از رابطه (۴) میزان اسیداسکوریک محاسبه و بر حسب میلی گرم در یک گرم محصول خشک شده (mg/g dry matter) بیان گردید [۲۱].

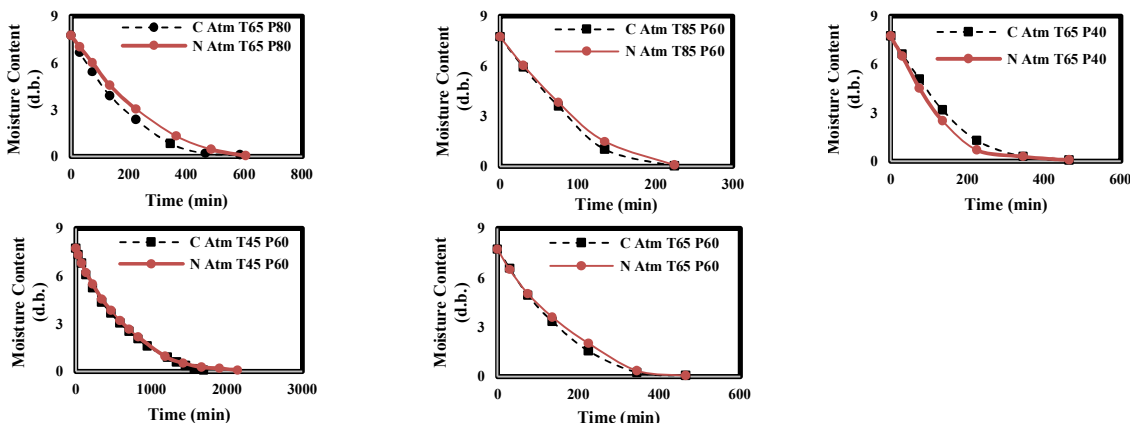
$$AA = \frac{B \times E \times D}{C \times A} \quad (4)$$

که در رابطه فوق A، B، C، D و E به ترتیب وزن نمونه (g)، حجم متافسفریک مصرفی برای نمونه اولیه (mL)، حجم نمونه مورد استفاده برای تیتراسیون (mL)، نقطه هم‌ارزی یا فاکتور رنگ و حجم رنگ مصرفی در تیتراسیون (mL) است

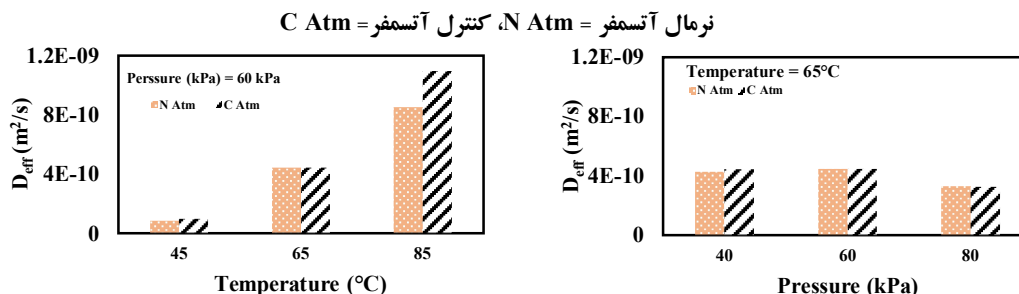
نتایج و بحث

شکل ۳ سینتیک خشک کردن ورقه‌های پرتقال با دو روش کنترل و نرمال آتمسفر را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۳ معلوم است، روش کنترل آتمسفر در زمان خشک کردن اثر مثبتی داشت و باعث افزایش نرخ خشک شدن شد.

شکل ۴ مقدار ضریب نفوذ موثر رطوبت را برای هر دو روش خشک کردن نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش نشان داد که کنترل آتمسفر، ضریب نفوذ موثر رطوبت را برای خشک کردن ورقه‌های پرتقال تا ۲۸٪ افزایش داد که این امر به معنی مصرف انرژی کمتر است. از لحاظ ترمودینامیکی، اختلاف معناداری بین خواص حرارتی هوا و گاز نیتروژن وجود ندارد. اما با کاهش غلظت اکسیژن در روش کنترل آتمسفر، رطوبت نسبی کاهش می‌یابد و متعاقباً گرادیان نفوذ رطوبت بین محصول و محیط خشک‌کن افزایش می‌یابد. این احتمالاً مهمترین دلیل برای افزایش نرخ خشک شدن با روش کنترل آتمسفر است [۲۲، ۲۳]. محققین متعددی اثر مثبت تزریق گاز نیتروژن بر روی ضریب نفوذ رطوبت را گزارش کرده‌اند [۲۳-۲۵].



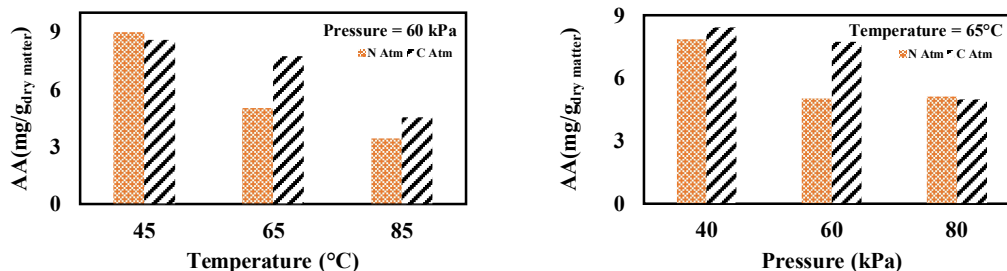
شکل ۳- سینتیک خشک شدن خلایه‌های ورقه‌های پرتقال با دو روش کنترل و نرمال آتسمفر.



شکل ۴- ضریب نفوذ موثر رطوبت خشک شدن خلایه‌های ورقه‌های پرتقال با دو روش کنترل و نرمال آتسمفر.

نرمال آتسمفر = N Atm، کنترل آتسمفر = C Atm

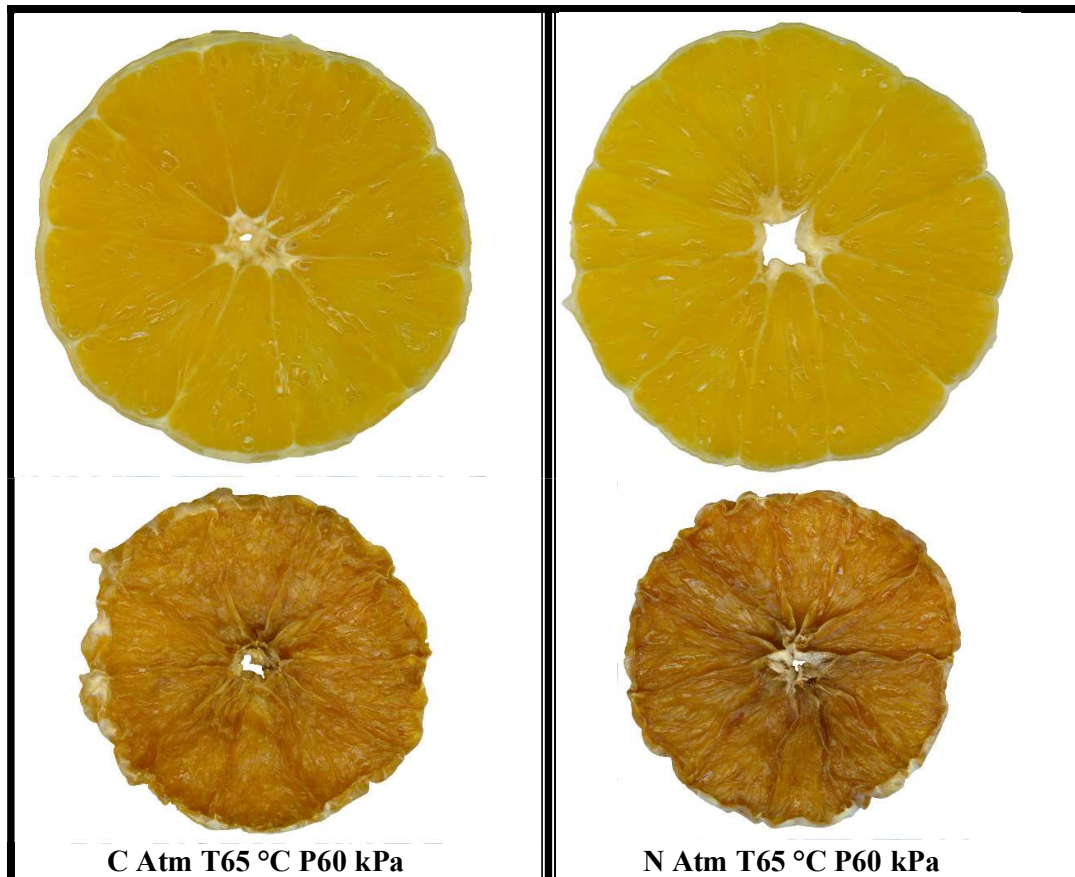
یکی از مهمترین مزایای خشک کردن‌های کنترل آتسمفر یا حتی آتسمفر اصلاح شده، پایداری قابل توجه اسید اسکوربیک است. مطالعات قبلی ثابت کرده است که کاهش مقدار اسید اسکوربیک در طی فرآیند خشک کردن، با افزایش دمای هوا، افزایش می‌یابد [۳، ۲۶]. نتایج مطالعه حاضر نیز نشان داد که دمای هوا اثر معناداری بر روی پایداری اسید اسکوربیک در سطح ۰/۰۱ برای هر دو روش خشک کردن کنترل و نرمال آتسمفر داشت. همچنین با روش کنترل آتسمفر، اثر سطح خلا بر روی پایداری اسید اسکوربیک تعدیل شد. شکل ۵ مقدار غلظت اسید اسکوربیک را در دما و فشارهای متفاوت برای دو روش خشک کردن کنترل و نرمال آتسمفر نشان می‌دهد.



شکل ۵- اسید اسکوربیک ورقه‌های پرتقال خشک شده در خشک کن خلایه با دو روش کنترل و نرمال آتسمفر.

نرمال آتسمفر = N Atm، کنترل آتسمفر = C Atm

شکل ۶ تصویر ورقه‌های پرتقال را نشان می‌دهد. بافت خشک شده با روش کنترل آتسمفر، ساختار منظم تری نسبت به روش نرمال آتسمفر داشت. همچنین مشاهدات عینی نشان داد که ورقه‌های پرتقال خشک شده با روش کنترل آتسمفر، تردتر از نمونه‌های خشک شده در سیستم نرمال آتسمفر بودند. در حالیکه ورقه‌های پرتقال خشک شده با روش نرمال آتسمفر، حالت لاستیکی داشتند.



شکل ۶- تصویر ورقه‌های پرتقال تازه و خشک‌شده، از چپ به راست تصویر پرتقال تازه، پرتقال خشک‌شده به روش نرمال آتمسفر در دمای ۶۰ kPa و ۶۵°C و روش کنترل آتمسفر در دمای ۶۰ kPa و ۶۵°C

نتیجه‌گیری:

نتایج این پژوهش نشان داد که روش کنترل آتمسفر اثر مثبت معنی‌داری بر روی افزایش نرخ خشک‌شدن و ضریب نفوذ موثر رطوبت نسبت به خشک کردن نرمال آتمسفر در خشک کردن ورقه‌های پرتقال داشت. همچنین روش کنترل آتمسفر با کاهش مقدار اکسیژن اطراف نمونه، فرآیند تخریب ویتامین ث را کنترل کرده و منجر به ماندگاری بهتر اسید اسکوربیک شد.

مراجع:

1. Shi, X.-F., J.-Z. Chu, Y.-F. Zhang, C.-Q. Liu, and X.-Q. Yao, 2017. Nutritional and active ingredients of medicinal chrysanthemum flower heads affected by different drying methods. *Industrial Crops and Products*, 104: p. 45-51.
2. Salazar, N.A., C. Alvarez, and C.E. Orrego, 2017. Optimization of Freezing Parameters for Freeze-Drying Mango (*Mangifera indica* L.) Slices. *Drying Technology*.
3. Cam, I.B., H. Basunal Gulmez, E. Eroglu, and A. Topuz, 2017. Strawberry drying: Development of a closed-cycle modified atmosphere drying system for food products and the performance evaluation of a case study. *Drying Technology*: p. 1-14.

4. Polat, A., O. Taskin, N. Izli, and B.B. Asik, 2019. Continuous and intermittent microwave-vacuum drying of apple: Drying kinetics, protein, mineral content, and color. *Journal of Food Process Engineering*, 42(3).
5. Majdi, H., J.A. Esfahani, and M. Mohebbi, 2019. Optimization of convective drying by response surface methodology. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156: p. 574-584.
6. Koua, B.K., P.M.E. Koffi, and P. Gbaha, 2019. Evolution of shrinkage, real density, porosity, heat and mass transfer coefficients during indirect solar drying of cocoa beans. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(1): p. 72-82.
7. Homayounfar, H., R.A. Chayjan, H. Sarikhani, and R. Kalvandi, 2019. Thermal, physical and chemical properties of lavender leaves under near infrared vacuum, multi-stage semi-industrial continuous and open sun drying. *Heat and Mass Transfer*, 55(11): p. 3289-3299.
8. Moses, J.A., T. Norton, K. Alagusundaram, and B.K. Tiwari, 2014. Novel drying techniques for the food industry. *Food Engineering Reviews*, 6(3): p. 43-55.
9. Thamkaew, G., I. Sjoholm, and F.G. Galindo, 2020. A review of drying methods for improving the quality of dried herbs. *Crit Rev Food Sci Nutr*: p. 1-24.
10. Silva, P.B., G.D.R. Nogueira, C.R. Duarte, and M.A.S. Barrozo, 2020. A New Rotary Dryer Assisted by Infrared Radiation for Drying of Acerola Residues. *Waste and Biomass Valorization*.
11. Özcan, M.M., K. Ghafoor, F. Al Juhaimi, N. Uslu, E.E. Babiker, I.A. Mohamed Ahmed, and I.A. Almusallam, 2020. Influence of drying techniques on bioactive properties, phenolic compounds and fatty acid compositions of dried lemon and orange peel powders. *Journal of Food Science and Technology*.
12. Demarchi, S.M., R.M. Torrez Irigoyen, and S.A. Giner, 2018. Vacuum drying of rosehip leathers: Modelling of coupled moisture content and temperature curves as a function of time with simultaneous time-varying ascorbic acid retention. *Journal of Food Engineering*, 233: p. 9-16.
13. Zielinska, M. and D. Zielinska, 2019. Effects of freezing, convective and microwave-vacuum drying on the content of bioactive compounds and color of cranberries. *Lwt*, 104: p. 202-209.
14. Souza da Silva, E., S.C. Rupert Brandão, A. Lopes da Silva, J.H. Fernandes da Silva, A.C. Duarte Coêlho, and P.M. Azoubel, 2019. Ultrasound-assisted vacuum drying of nectarine. *Journal of Food Engineering*, 246: p. 119-124.
15. Wang, J., C.-L. Law, P.K. Nema, J.-H. Zhao, Z.-L. Liu, L.-Z. Deng, Z.-J. Gao, and H.-W. Xiao, 2018. Pulsed vacuum drying enhances drying kinetics and quality of lemon slices. *Journal of Food Engineering*, 224: p. 129-138.
16. !!! INVALID CITATION !!! [18-20].
17. Khanlari, Y., A. Aroujalian, S. Fazel, and M. Fathizadeh, 2013. An Experimental Work and Mathematical Modeling on Kinetic Drying of Tomato Pulp Under Different Modified Atmosphere Conditions. *International Journal of Food Properties*, 17(1): p. 1-12.
18. Borompichaichartkul, C., N. Chinprahast, S. Devahastin, L. Wiset, N. Poomsa-Ad, and T. Ratchapo, 2013. Multistage heat pump drying of macadamia nut under modified atmosphere. *International Food Research Journal*, 20(5): p. 2199.
19. Crank, J., 1975, *The Mathematics of Diffusion*. Clarendon Press. 415.
20. Chayjan, R.A., K. Salari, Q. Abedi, and A.A. Sabziparvar, 2013. Modeling moisture diffusivity, activation energy and specific energy consumption of squash seeds in a semi fluidized and fluidized bed drying. *Journal of Food Science and Technology*, 50(4): p. 667-77.

21. Williams, S., 1984, Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists.
22. Liu, Y., J. Wu, S. Miao, C. Chong, and Y. Sun, 2014. Effect of a Modified Atmosphere on Drying and Quality Characteristics of Carrots. Food and Bioprocess Technology, 7(9): p. 2549-2559.
23. Liu, Y., S. Miao, J.-Y. Wu, and J.-X. Liu, 2014. Drying and Quality Characteristics of Flos Lonicera in Modified Atmosphere with Heat Pump System. Journal of Food Process Engineering, 37(1): p. 37-45.
24. Chakraborty, R. and P. Mondal, 2017. Effects of intermittent CO₂ convection under far-infrared radiation on vacuum drying of pre-osmolyzed watermelon. J Sci Food Agric, 97(11): p. 3822-3830.
25. Hawlader, M.N.A., C.O. Perera, and M. Tian, 2006. Comparison of the Retention of 6-Gingerol in Drying of Ginger Under Modified Atmosphere Heat Pump Drying and other Drying Methods. Drying Technology, 24(1): p. 51-56.
26. Ghasemi, A. and R.A. Chayjan, 2019. Numerical simulation of vitamin C degradation during dehydration process of fresh tomatoes. Journal of Food Process Engineering, 42(6).

Performance evaluation of an atmospheric control dryer and compare it with a normal system

Hamed Homayounfar¹, Reza Amiri Chayjan^{2*} and Hassan Sarikhani³

1. Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran
2. Department of Horticultural Sciences, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Abstract

In this study, first a drying system with the ability to control the atmosphere was built and then the orange slices were dried by two methods of control and normal atmosphere. In the atmospheric control method, the space inside the tank was filled by injecting nitrogen gas as a neutral gas to reduce the oxidation process. Control and normal atmosphere experiments were performed at a constant temperature of 65 °C and pressures of 40, 60 and 80 kPa. The experiments were also performed at a constant pressure of 60 kPa and temperatures of 45, 65 and 85 °C. The results showed that nitrogen gas injection had a significant effect on increasing the effective moisture penetration coefficient and further preservation of ascorbic acid (vitamin C).

Key words: Oranges, vacuum dryer, atmosphere control, vitamin C.

*Corresponding author

E-mail: amirireza@basu.ac.ir