

امکان تولید پودر ماست با استفاده از خشک‌کن مایکروویو خلاء

عبدالرحمن قادری^۱ سلیمان عباسی^{۲*} زهره حمیدی^۳

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۱/۴

چکیده

یکی از راه‌های افزایش ماندگاری ماست و افزایش قابلیت‌های کاربردی این فرآورده، خشک‌کردن و تهیه پودر آن می‌باشد. اغلب برای این منظور از خشک‌کن انجمادی با هزینه بالا استفاده می‌شود که تقریباً توجیه اقتصادی ندارد. به همین دلیل، در پژوهش حاضر توانایی خشک‌کن مایکروویو خلاء به‌عنوان روشی جایگزین برای خشک‌کردن ماست بدون چربی مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور، نمونه‌های ماست با ضخامت‌های ۲/۲، ۴/۲ و ۶/۲ میلی‌متر به‌وسیله تیمارهای ترکیبی فشار مطلق (۶۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی بار) و توان‌های مختلف مایکروویو (۳۵، ۱۳۰ و ۲۶۰ وات) در یک خشک‌کن طراحی شده در آزمایشگاه خشک‌گردید. یافته‌ها نشان داد که زمان خشک‌شدن با خشک‌کن مایکروویو خلاء در مقایسه با خشک‌کن انجمادی تجاری برای ضخامت ۲/۲ میلی‌متر حدود ۸۰٪ کوتاه‌تر بود. همچنین، افزایش یا کاهش خلاء تأثیر قابل ملاحظه‌ای در زمان خشک‌شدن نداشت در حالی که، توان و ضخامت تأثیر قابل توجهی روی زمان خشک‌شدن نشان دادند. در ضمن، از لحاظ شاخص‌های کیفی، به جز شاخص رنگ و چگالی حجمی تفاوت معنی‌داری بین پودرهای تولید شده با این دو روش مشاهده نشد ولی رنگ پودر تهیه شده با خشک‌کن انجمادی و چگالی حجمی پودر تهیه شده با خشک‌کن مایکروویو خلاء از مطلوبیت بهتری برخوردار بودند. در بین پودرهای تولید شده نیز پودر تهیه شده در شرایط توان مایکروویو ۳۵ وات و فشار مطلق ۶۰ میلی‌بار به دلیل رنگ مناسب به‌عنوان بهترین تیمار شناخته شد. یافته‌های این بررسی نشان داد که خشک‌کن مایکروویو خلاء توانایی تولید پودر ماست و دیگر پودرهای غذایی را داراست و به‌طور بالقوه جایگزین مناسبی برای خشک‌کن انجمادی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: ماست، ماندگاری، خشک‌کن، مایکروویو، کیفیت

(and Robinson, 2007).

مقدمه

معمولاً ماست در سراسر زنجیره توزیع در دمای ۴-۴ درجه سانتی‌گراد نگهداری می‌شود که این شرایط، علاوه بر جلوگیری از فساد به وسیله مخمرها و کپک‌ها از فعالیت بیشتر باکتری‌های آغازگر نیز ممانعت می‌کند. ولی به هر حال، استفاده از زنجیره سرما به قیمت تمام شده محصول می‌افزاید. لذا، با توجه به توضیحات بالا ماندگاری ماست در شکل طبیعی آن کوتاه است؛ یعنی در شرایط محیط (۴۵-۳۰ درجه سانتی‌گراد) و ۷ درجه سانتی‌گراد می‌توان این فرآورده را به ترتیب به مدت یک تا پنج روز نگهداری نمود؛ که این امر مانع تجاری شدن و استفاده گسترده از این محصول مفید می‌شود. البته ذکر این نکته نیز ضروری است که امروزه با پاستوریزه کردن ماست بعد از تولید، نوعی ماست هم‌زده پاستوریزه تولید می‌شود؛ که دارای زمان ماندگاری نسبتاً بالایی می‌باشد (Tamime and Robinson, 2007). به‌هرحال، به‌نظر می‌رسد که بتوان با کاهش محتوای آب و تهیه پودر آن به وسیله روش‌های گوناگون نظیر خشک‌کردن انجمادی، پاششی، خلائی یا خشک‌کردن به وسیله مایکروویو ماندگاری آن را به‌طور

ماست از پرمصرف‌ترین فرآورده‌های تخمیری شیر است؛ که از اهمیت ویژه‌ای در رژیم غذایی برخوردار است. معروفیت و مصرف بالای ماست به دلیل ارزش تغذیه‌ای آن و اثرات سودمند باکتری‌های آغازگر می‌باشد (Hamann and Marth, 1984)؛ مظاهری تهرانی و همکاران، (۱۳۸۷). در ضمن، این فرآورده به دلیل غلظت بالاتر، قابلیت هضم و جذب بهتر چربی، لاکتوز، پروتئین و مواد معدنی، مغذی‌تر از شیر بوده و جزء منابع غنی از کلسیم، فسفر، ریبوفلاون، ویتامین B_{۱۲}، اسید نیکوئینیک، ویتامین B_۵، روی و منیزیم می‌باشد (Sarkar and Misra, 2002). همچنین، با توجه به این‌که باکتری‌های مایه ماست تا حدی آبکافت پروتئین (پروتئولیز اولیه) را انجام می‌دهند؛ در نتیجه قابلیت هضم پروتئین‌ها در این فرآورده افزایش می‌یابد (Tamime

۱، ۲ و ۳ به ترتیب دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد و دانشیاران گروه علوم و صنایع غذایی دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس تهران
(* نویسنده مسئول: Email: sabbasifood@modares.ac.ir)

بنابراین، هدف پژوهش حاضر بررسی امکان تولید پودر ماست با استفاده از خشک‌کن مایکروویو خلاء در ترکیب‌های مختلف توان و خلاء، بررسی تأثیر فشار و دما روی برخی ویژگی‌های پودرهای تولیدی، مقایسه پودرهای تولیدی با پودر تهیه شده با استفاده از خشک‌کن انجمادی و انتخاب مناسب‌ترین روش و شرایط تولید با توجه به برخی ویژگی‌های کیفی (رنگ، چگالی حجمی و ...) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد

برای تهیه ماست بدون چربی، شیر پس‌چرخ از کارخانه پاک تهران تهیه شد و پس از پاستوریزاسیون (دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۳۰ دقیقه) و کاهش دما تا ۴۵ درجه، مایه ماست اضافه و مخلوط در دمای ۴۲ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴ ساعت در گرم‌خانه نگهداری شد. سپس ماست تهیه شده در فریزر ۸- درجه سانتی‌گراد نگهداری شد تا از تغییرات ناخواسته و ترش شدن آن ممانعت شود. در ضمن، محتوای رطوبت اولیه (روش آون) و چربی (روش ژربر) نمونه‌های ماست به ترتیب ۸/۳۰ کیلوگرم آب در کیلوگرم ماده خشک و ۰/۲۵ درصد بدست آمد (Anonymous, 1999).

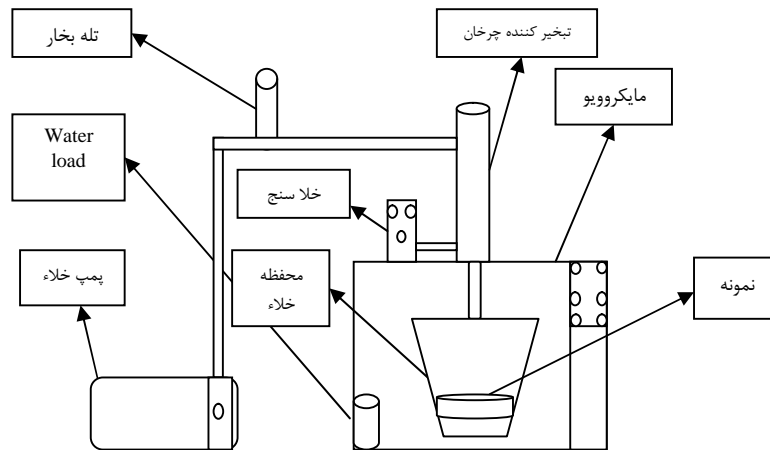
دستگاه خشک‌کن

در این بررسی از خشک‌کن مایکروویو خلاء آزمایشگاهی طراحی شده در دانشگاه تربیت مدرس (شکل ۱) استفاده شد. برای تأمین فشارهای مطلق تا ۲۰۰ میلی‌بار از پمپ خلاء (Kawake airvac مدل jp-120h ساخت تایوان)، برای فشارهای مطلق پایین‌تر (تا حدود ۶۰ میلی‌بار) از پمپ خلاء (Vacuubrand مدل MD1 ساخت آلمان) و برای اعمال امواج مایکروویو از یک مایکروویو خانگی AEG مدل Micromat 725 ساخت کشور آلمان، با توان اسمی ۱۲۰۰ وات، بسامد ۲۴۵۰ مگاهرتز و ابعاد محفظه داخلی ۳۳cm × ۳۲cm × ۳۶cm استفاده شد. هم‌چنین مقدار فشار مطلق سیستم با خلاءسنج (P.V.R مدل VTI NP ساخت ایتالیا) اندازه‌گیری شد. برای چرخش محفظه حاوی نمونه در داخل مایکروویو به منظور پراکندگی یکنواخت امواج و هم‌چنین خروج بخارات حاصل از تبخیر و جلوگیری از افزایش فشار محفظه از تبخیر کننده چرخان (Buchl مدل RE120 ساخت کشور سوئیس) استفاده گردید (Abbasi and Azari, 2009). برای توزین نمونه‌ها از ترازوی دیجیتال (Tecator مدل ۶۱۰، ساخت فرانسه) با دقت ۰/۰۰۰۱ استفاده و عملیات اندازه‌گیری وزن نمونه‌ها در کم‌تر از ۹۰ ثانیه انجام شد.

قابل توجهی افزایش داد. در ضمن، خشک‌کردن ماست دارای مزایایی نظیر عمر انبارمانی بالاتر بدون استفاده از یخچال، کاهش حجم فرآورده، بسته‌بندی کم‌تر، کاهش هزینه حمل و نقل و نگهداری می‌باشد.

اصولاً با توجه به ارزش تغذیه‌ای بالا و دارا بودن طعم ویژه، می‌توان ماست خشک شده (پودر ماست) را در صنعت غذا به عنوان یک جزء افزودنی در شیرینی‌سازی، آب نبات، محصولات نانوبی، ویفر، شکلات، سوپ و غیره به کاربرد (عباسی، ۱۳۸۸؛ Barbosa *et al.*, 2005). در ضمن، برای تولید پودر ماست به صورت تجاری از روش‌های خشک‌کردن انجمادی و پاششی استفاده می‌شود، که روش انجمادی به دلیل حداقل صدمات به ترکیبات و طعم شیر، مطلوبیت بیشتری دارد (Tamime and Robinson, 2007) چرا که دمای بالا و زمان طولانی خشک‌کردن اغلب باعث صدمات گرمایی و اثرات منفی روی بافت، طعم و ارزش تغذیه‌ای محصول می‌گردد (Tein *et al.*, 2008). خشک‌کردن انجمادی نیز علیرغم مزایایی که دارا می‌باشد؛ به دلیل سرعت پایین، هزینه انرژی و سرمایه‌گذاری اولیه بالا یک فرآیند گران‌قیمت می‌باشد. لذا، بنا به دلایل گفته شده کاربرد خشک‌کردن انجمادی در مقیاس صنعتی اغلب محدود به محصولاتی با ارزش افزوده بالا می‌باشد (Tao *et al.*, 2005).

به همین دلیل، در سال‌های اخیر خشک‌کردن بوسیله مایکروویو خلاء به عنوان یک روش جایگزین جذاب و ارزان‌تر از خشک‌کردن انجمادی در تولید محصولات با کیفیت بالا و حساس به حرارت پیشنهاد شده است. به نظر می‌رسد که بتوان این نوع خشک‌کن را با توجه به دارا بودن همه مزایای حرارت‌دهی دی‌الکتریکی اما در دمایی پایین‌تر (به خاطر اعمال خلاء) به عنوان روش جایگزین انتخاب کرد. این روش ترکیبی فواید هر دو روش خشک‌شدن تحت خلاء و خشک شدن با مایکروویو را در بر دارد و می‌تواند کارایی انرژی و کیفیت فرآورده را بهبود ببخشد (Kim and Bhowmik, 1994; 1995; Abbasi and Azari, 2009). در فرآوری حرارتی معمول، انرژی از طریق جابه‌جایی، هدایت و تشعشع به ماده منتقل می‌شود درحالی‌که انرژی مایکروویو مستقیماً از طریق برهم‌کنش مولکولی با میدان الکترومغناطیسی به ماده می‌رسد. وقتی مواد با خصوصیات دی‌الکتریکی متفاوت در معرض مایکروویو قرار بگیرند مایکروویو به طور انتخابی با موادی که دارای ضریب افت بالاتری هستند درگیر می‌شود (Venkatesh and Raghavan, 2004). استفاده از این روش در دماهای پایین برای خشک‌کردن ماست می‌تواند به عنوان جایگزینی مناسب برای روش‌های دیگر نظیر خشک‌کن انجمادی و پاششی با توجه به زنده‌مانی کشت آغازگر و هزینه فرآیند در نظر گرفته شود (Kim and Bhowmik, 1994; 1995; Hamann and Marth, 1984).



شکل ۱- نحوه‌ی استقرار قسمت‌های مختلف دستگاه خشک‌کن مایکروویو خلاء

اعمال امواج مایکروویو به صورت ۱۰ نوبت سه دقیقه‌ای، ۴ نوبت پنج دقیقه‌ای، ۱۰ نوبت ده دقیقه‌ای و بقیه بیست دقیقه‌ای بود. هم‌چنین، از ۳ روش ترکیبی نیز به شکل زیر استفاده شد:

روش ترکیبی ۱: به منظور بررسی تأثیر تیمار انجماد روی سرعت و کیفیت خشک‌شدن ماست بدون چربی، ماست قبل از خشک‌کردن به مدت ۲۴ ساعت در برودت ۸- درجه سانتی‌گراد منجمد شد سپس ماست منجمد تحت توان ۳۵ وات و فشار مطلق ۶۰ میلی‌بار خشک شد.

روش ترکیبی ۲ (توان ثابت و فشار متغیر): در این روش از توان ثابت ۱۳۰ وات و فشار متغیر استفاده شد. فشارهای اعمال شده بدین شرح بود: ۹ دقیقه اول فشار ۴۰۰ میلی‌بار، ۳ دقیقه فشار ۶۰۰ میلی‌بار، ۳ دقیقه فشار ۴۰۰ میلی‌بار، بقیه زمان باقی مانده فشار ۲۰۰ میلی‌بار.

روش ترکیبی ۳ (فشار مطلق ثابت و توان متغیر): در این روش عملیات خشک‌کردن ماست در فشار ثابت ۲۰۰ میلی‌بار و توان متغیر مایکروویو انجام شد. توان‌های اعمال شده بدین شرح بود: ۳ دقیقه اول توان ۱۳۰ وات، ۱۸ دقیقه توان ۳۵ وات، ۳ دقیقه توان ۱۳۰ وات، ۳ دقیقه توان ۳۵ وات، بقیه زمان باقی مانده در توان ۱۳۰ وات.

هدف از انجام روش‌های ترکیبی ۲ و ۳ بررسی امکان کم کردن زمان خشک‌شدن (به وسیله ترکیب‌های مختلف فشار توان) و جلوگیری از پرتاب ماست (به علت اعمال فشار پایین و یا توان بالا) بود. در ضمن، بعد از فرآیند خشک‌کردن و رسیدن رطوبت نمونه‌ها به حد مناسب (محتوای رطوبت ۰/۰۵ بر حسب کیلوگرم آب در کیلوگرم ماده خشک)، نمونه‌های خشک شده بوسیله کاردک از کف شیشه دارای پوشش تفلون جدا شدند و بعد از سرد شدن کامل و خرد شدن توسط هاون، در داخل بشقاب‌های آزمایشگاهی برای انجام آزمایش‌های بعدی نگهداری شدند. لازم به ذکر است که هر دفعه قبل از شروع خشک‌کردن، مایکروویو با توان ۱۳۰ وات به مدت ۲۰ دقیقه

روش اندازه‌گیری توان خروجی مایکروویو

در این پژوهش، اندازه‌گیری توان خروجی مایکروویو با استفاده از روش حرارت‌دهی تعیین شد. بدین صورت که افزایش دمای ۱۰۰۰ گرم آب در واحد زمان بوسیله فرمول زیر محاسبه شد:

$$Q_{abs} = Q = \frac{mC_p\Delta\theta}{t} = \frac{4187 \times \Delta\theta}{t} \quad (1)$$

که در این این‌جا، Q = توان خروجی مایکروویو در مگنترون (W)، Q_{abs} = انرژی جذب شده به وسیله نمونه در واحد زمان (W)، m = جرم نمونه (kg)، C_p = گرمای ویژه نمونه (J/kg K)، $\Delta\theta$ = افزایش دمای نمونه (°C)، t = زمان حرارت‌دهی مایکروویو (s) می‌باشند (Cui *et al.*, 2004).

تیمارهای استفاده شده در خشک‌کردن با خشک‌کن

مایکروویو خلاء

به منظور بررسی کینتیک خشک‌کردن، عملیات خشک‌کردن ماست بدون چربی در شرایط مختلف ترکیبی فشار هوا و توان مایکروویو مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های مورد استفاده عبارت بودند از:

نمونه‌های ماست بدون چربی با ضخامت‌های ۲/۲، ۴/۲ و ۶/۲ میلی‌متر داخل محفظه خلاء گذاشته شدند و در توان‌های عملی ۳۵، ۱۳۰ و ۲۶۰ وات مایکروویو و فشارهای مطلق (۱۰±۲۰۰، ۱۰±۴۰۰، ۱۰±۶۰۰ و ۱۰±۸۰۰ میلی‌بار) و با سرعت چرخش ۲۰ دور در دقیقه برای رسیدن به رطوبت حدود ۵٪ خشک شدند (البته برای توان ۱۳۰ و ۲۶۰ وات به ترتیب از ۳ و ۲ سطح فشار، و برای توان ۳۵ وات علاوه بر ۴ فشار ذکر شده از فشار ۵±۶۰ میلی‌بار نیز استفاده شد. هم‌چنین، برای ضخامت ۴/۲ و ۶/۲ میلی‌متر فقط از توان ۳۵ وات استفاده شد).

چگالی حجمی پودر

معمولاً چگالی توده با ریختن وزن مشخصی از ماده غذایی (مطابق استاندارد انگلیس ۳۰ گرم و استاندارد انجمن تکنولوژی لبنیات آمریکا ۵۰ گرم) به داخل استوانه مدرج و جای‌گذاری مقادیر وزن و حجم مربوطه در معادله زیر بدست می‌آید. که در این‌جا، m جرم توده و V_b حجم مربوط به توده جرم ماده غذایی است.

$$\rho = \frac{m}{V_b} \quad (2)$$

در تحقیق حاضر نیز، پودر ماست داخل استوانه مدرج ریخته شد و ۳ ضربه آهسته به آن زده و بعد با قرائت حجم آن و جای‌گذاری در فرمول مربوطه چگالی حجمی بدست آمد (Wright et al., 2009).

رنگ پودر

ارزیابی رنگ پودرهای تولید شده با استفاده از دستگاه رنگ‌سنج انجام شد (Hunter lab Colorflex, Reston, VA, USA). این دستگاه قبل از استفاده به وسیله کاشی سفید استاندارد ($L^* = 92/23$ ، $a^* = 1/19$ ، $b^* = 1/29$) کالیبره شد. برای هر بار اندازه‌گیری، حدود ۵ گرم پودر داخل ظرف مخصوص قرار داده شد و پارامترهای a^* (شاخص قرمزی به سبزی)، b^* (شاخص زرد به آبی) و L^* (شاخص سفیدی به سیاهی) برای هر نمونه در ۳ تکرار اندازه‌گیری شد. سپس با قرار دادن این شاخص‌ها در معادله‌های زیر، شاخص‌های قهوه‌ای شدن (BI) و تغییرات کلی رنگ (E) به دست آمدند.

$$E = \sqrt{(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2} \quad (3)$$

که در فرمول بالا اندیس صفر مربوط به رنگ کاشی سفید می‌باشد یعنی کاشی سفید به عنوان مرجع استفاده شد و E بزرگتر به تغییرات بیشتر رنگ نمونه پودر نسبت به کاشی اشاره دارد.

$$BI = \frac{100(x - 0.31)}{0.172} \quad (4)$$

که در این‌جا، (۵)

$$x = (a^* + 1.75L^*) / (5.645L^* + a^* - 3.012b^*)$$

شاخص قهوه‌ای شدن، خلوص رنگ قهوه‌ای را نشان می‌دهد و به عنوان یک شاخص مهم در ارتباط با قهوه‌ای شدن مدنظر می‌باشد (Abbasi and Azari, 2009; Mohammadi et al., 2008).

اسیدیته قابل تیتر و مقدار چربی پودر

میزان اسیدیته از طریق تیتر کردن مقدار مشخصی از پودر ماست بازسازی شده (حدود ۱ گرم) با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن به pH ۸/۴ انجام شد که با معرف فنل فتالین نیز نقطه پایانی مشخص

روشن می‌شد تا شرایط برای همه نمونه‌ها یکسان باشد (یعنی دمای داخل محفظه برای اولین نمونه با آخرین نمونه‌ای که در یک روز کاری خشک می‌شد یکسان بود).

روش خشک‌کردن ماست توسط خشک‌کن انجمادی

برای تهیه پودر ماست با استفاده از خشک‌کن انجمادی، ابتدا نمونه‌ها با استفاده از نیتروژن مایع منجمد (ضخامت در حدود ۲/۲ میلی‌متر) و به مدت ۲۴ ساعت در فریزر (۶۸- درجه سانتی‌گراد) نگهداری شدند. سپس از خشک‌کن انجمادی (Freeze Scanvac Drier مدل Coolsafe 55-9 ساخت دانمارک، دمای کندانسور ۴۵ درجه سانتی‌گراد، فشار مطلق داخل محفظه ۲ میلی‌بار و دمای محیط) برای خشک‌کردن نمونه‌های منجمد شده ماست استفاده گردید.

اندازه‌گیری برخی ویژگی‌های پودر ماست

اندیس حلالیت پودر

برای این منظور مقدار ۱۰ گرم پودر ماست به ۱۰۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه همراه ۳ قطره روغن ضدکف (روغن سیلیکون) اضافه شد. سپس به مدت ۹۰ ثانیه بوسیله مخلوط‌کن عمل هم‌زدن انجام گرفت. نمونه هم‌زده به مدت ۵ دقیقه به حال سکون گذاشته شد. سپس نمونه را به مدت ۵ ثانیه با یک قاشق کاملاً مخلوط کرده و بلافاصله داخل ۲ عدد فالدون ۵۰ میلی‌لیتر ریخته شد. عمل سانتریفوژ کردن فالدون‌های حاوی نمونه به مدت ۵ دقیقه در ۱۶۴g انجام گرفت. بعد از عمل سانتریفوژ کردن، مایع رویی با عمل سرریز کردن جدا شد، به طوری که لایه رسوب به هم نخورد سپس حدود ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر به آن اضافه شد و با استفاده از یک میله شیشه‌ای رسوبات تشکیل شده در آب پخش گردید. در نهایت فالدون‌ها تا خط نشانه ۵۰ میلی‌لیتر با آب مقطر پر شدند و دوباره سانتریفوژ گردیدند. سپس لوله‌ها در یک حالت عمودی در حالی که سطح بالایی رسوب مقابل چشم بود قرار داده و نزدیک‌ترین خط تقسیم را به رسوب قرائت کرده و به عنوان اندیس حلالیت گزارش شد. برای هر نمونه ۲ بار آزمایش تکرار شد (Wright et al., 2009).

میزان پخش‌شوندگی پودر

برای اندازه‌گیری این ویژگی، مقدار ۱۰ گرم پودر به ۱۰۰ سی‌سی آب دیونیزه در یک بالن ۵۰۰ سی‌سی اضافه و به طور عمودی هم‌زده شد. بدین صورت که در ابتدا دست موازی زمین بود و سپس دست ۹۰ درجه بالا آمده به طوری که عمود بر زمین شد. تعداد دفعاتی که لازم بود تا پودر کاملاً در داخل آب پخش شود در ۲ تکرار برای هر نمونه شمارش شد (Wright et al., 2009).

گردید. مقدار چربی پودرها نیز با استفاده از روش سوکسله مطابق روش AOAC اندازه‌گیری گردید (AOAC, 1999).

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS 16 از طریق طرح کاملاً تصادفی و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن انجام گرفت (در سطح ۵٪). رسم منحنی‌ها هم با استفاده از نرم افزار Excel انجام شد.

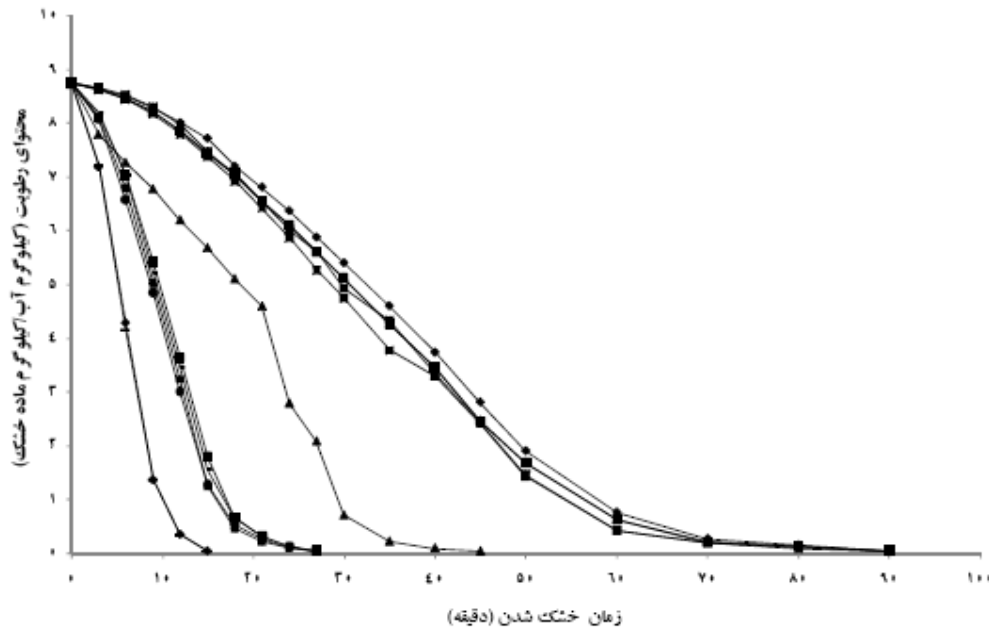
یافته‌ها و بحث

مقایسه زمان‌های خشک شدن

زمان مورد نیاز برای خشک شدن ماست با ضخامت ۲/۲ میلی‌متر به وسیله خشک‌کن مایکروویو خلاء توسط توان‌های ۳۵، ۱۳۰، ۲۶۰، تیمارهای ترکیبی ۲ و ۳ به ترتیب ۹۰، ۲۷، ۱۵، ۲۷ و ۴۵ دقیقه طول کشید (شکل ۲). همان‌گونه که مشاهده می‌شود فشار در مدت زمان خشک شدن تأثیری نداشت و برای فشارهای مختلف در توان‌های یکسان تفاوتی مشاهده نشد. می‌توان این پدیده را این چنین توجیه کرد که در ضخامت‌های کم (حدود ۳ تا ۵ میلی‌متر) سرعت خشک شدن به وسیله نرخ اتلاف انرژی و در ضخامت‌های بیشتر (۳ تا

۴ سانتی‌متر) به وسیله انتشار رطوبت کنترل می‌شود. بنابراین، فشار محیط کاملاً یک عامل تأثیرگذار بوده و فشار پایین‌تر منجر به سرعت خشک شدن سریع‌تر می‌شود (Cui et al., 2004; Bondaruk et al., 2007). با این وصف، توان نقش مهمی در کاهش زمان داشت به طوری که با افزایش توان از ۳۵ به ۱۳۰ و ۲۶۰ وات زمان خشک شدن به ترتیب ۷۰ و ۸۴ درصد کاهش یافت. زمان مورد نیاز برای خشک شدن ماست به روش خشک کن انجمادی حدود ۳۹۰ دقیقه طول کشید که ۴/۵، ۱۴/۵ و ۲۶ برابر زمان بدست آمده در توان‌های ۳۵، ۱۳۰ و ۲۶۰ وات بود. این مقایسه‌ها نشان داد که استفاده از خشک‌کن مایکروویو خلاء باعث کاهش قابل توجهی در مدت زمان خشک کردن ماست در مقایسه با خشک‌کن انجمادی می‌شود.

در بررسی حاضر به منظور بررسی تأثیر ضخامت روی سرعت خشک شدن علاوه بر ضخامت ۲/۲ میلی‌متر از دو ضخامت ۴/۲ و ۶/۲ میلی‌متر با توان مایکروویو ۳۵ وات نیز استفاده شد. در سایر توان‌های مایکروویو (۱۳۰ و ۲۶۰ وات) به علت بیشتر بودن حجم نمونه ماست و در نتیجه جذب انرژی بیشتر مایکروویو پرتاب شدن ماست روی می‌داد که عملاً خشک شدن ماست را غیرممکن ساخته بود.



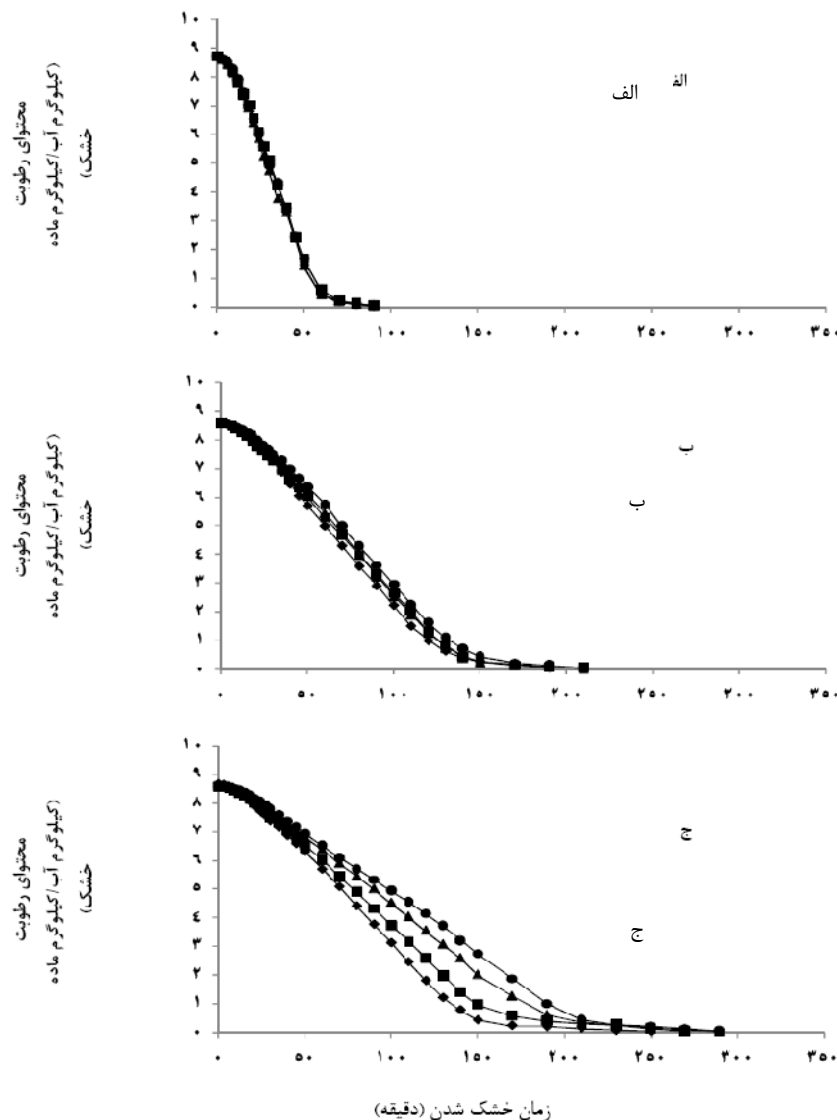
شکل ۲. مقایسه تأثیر ترکیب توان مایکروویو و فشار محافظه (۳۵ وات، ۶۰ میلی‌بار، ۱۳۰ وات، ۲۰۰ میلی‌بار، ۲۶۰ وات، ۴۰۰ میلی‌بار)؛ (۳۵ وات، ۸۰۰ میلی‌بار، ۱۳۰ وات، ۴۰۰ میلی‌بار، ۱۳۰ وات، ۶۰۰ میلی‌بار)؛ (۳۵ وات، ۸۰۰ میلی‌بار، ۱۳۰ وات، ۶۰۰ میلی‌بار، ۱۳۰ وات، ۸۰۰ میلی‌بار)؛ (۲۶۰ وات، ۶۰۰ میلی‌بار، ۲۶۰ وات، ۸۰۰ میلی‌بار، ۲۶۰ وات، ۸۰۰ میلی‌بار)؛ (تیمار ترکیبی ۲)؛ (تیمار ترکیبی ۳) روی محتوای رطوبت نمونه ماست (ضخامت ۲/۲ میلی‌متر) در حین فرآیند خشک شدن توسط خشک‌کن مایکروویو خلاء

افزایش ضخامت در تحقیق حاضر با نتایج بدست آمده توسط Wang ، Pappas *et al.*, 1999 ، Abbasi and Azari, 2009 and Xi, 2005 و Giri and Prasad, 2007 هم‌خوانی داشت.

اما افزایش یا کاهش فشار در ضخامت ۴/۲ میلی‌متر تأثیر آن‌چنانی روی سرعت خشک‌شدن نداشت و فقط نمونه قرار داده شده در فشار مطلق ۲۰۰ میلی‌بار در مدت زمان کمتری (۱۹۰ دقیقه) خشک شد و سه فشار مطلق دیگر (۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی‌بار) تأثیری در روند خشک‌شدن نشان ندادند و فرآیند خشک‌شدن ۲۱۰ دقیقه طول کشید.

هم‌چنین در بعضی موارد رگه‌هایی از سوختگی در حین خشک‌شدن ماست مشاهده می‌شد؛ که روی هم‌رفته مانع استفاده از دو توان مذکور گردید.

همان‌طوری که در شکل ۳ نیز مشخص است با افزایش ضخامت از ۲/۲ به ۴/۲ و هم‌چنین ۶/۲ میلی‌متر مدت زمان خشک‌شدن افزایش یافته است. به طور کلی می‌توان گفت که با افزایش ضخامت از ۲/۲ به ۴/۲ میلی‌متر حدود ۱۲۲٪ و از ۴/۲ به ۶/۲ میلی‌متر حدود ۴۰٪ زمان خشک‌شدن افزایش یافته است که این تغییر می‌تواند ناشی از افزایش میزان آب نمونه و هم‌چنین مسیر طولانی‌تری باشد که بخار آب برای خروج باید طی کند. نتایج افزایش زمان خشک‌شدن با



شکل ۳ تأثیر فشارهای مختلف (۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی‌بار) روی محتوای رطوبت نمونه‌های ماست حین فرآیند خشک‌شدن توسط خشک‌کن مایکروویو. خلاء در ضخامت‌های الف) ۲/۲ میلی‌متر، ب) ۴/۲ میلی‌متر و ج) ۶/۲ میلی‌متر

این شاخص بررسی تأثیر احتمالی امواج روی مقدار کمی اسید لاکتیک بود، زیرا یکی از ترکیبات مفید و مشخصه در ماست همین ترکیب می‌باشد؛ که دارای اثرات سلامتی بخش برای انسان‌ها است. در این ارتباط، مقدار اسیدیته قابل تیترا پودرهای ماست خشک‌شده توسط خشک‌کن مایکروویو خلاء و ماست تازه (قبل از خشک‌کردن) در حدود ۹/۲۷ تا ۱۰/۰۶ گرم بر حسب اسید لاکتیک در ۱۰۰ گرم ماده خشک بدست آمد. تجزیه و تحلیل آماری نیز نشان داد که امواج مایکروویو تغییر معنی‌داری در مقدار اسیدیته قابل تیتراسیون ایجاد نکرده و اسیدیته پودرهای خشک‌شده با خشک‌کن مایکروویو خلاء با پودر خشک‌شده توسط خشک‌کن انجمادی تقریباً یکی بود. علاوه بر این، اندازه‌گیری مقدار اسیدیته ماست قبل از خشک‌کردن نشان داد که فرآیند خشک‌شدن با هر دو روش (انجمادی و مایکروویو خلاء) اثر معنی‌داری روی این عامل نداشته‌اند (در سطح ۵٪). البته در بعضی گزارش‌ها مقدار اسیدیته را حدود ۸ ذکر کرده‌اند که در این تحقیق چون پهاش ماست اولیه تقریباً بالا بود (در حدود ۴/۱) اسیدیته نیز اندکی بالاتر بود.

مقدار چربی اندازه‌گیری شده با روش سوکسله نیز نشان داد که طبق آنچه انتظار می‌رفت میزان چربی نیز در فرآیند خشک‌شدن تغییر نکرده و فرآیند خشک‌شدن تأثیری در مقدار کمی این ترکیب نداشته است. مقدار چربی بدست آمده برای پودرهای ماست تولید شده در حدود ۲/۵ درصد بود که با مقدار ۰/۲۵ درصد موجود در ماست اولیه مطابقت داشت.

۴ ویژگی‌های رنگ

مقایسه تأثیر تیمارهای مختلف خشک‌کردن روی شاخص اندیس قهوه‌ای شدن و تغییرات کلی رنگ پودر ماست نشان داد که میزان این شاخص‌ها در پودرهای تهیه شده با خشک‌کن انجمادی و خشک‌کن مایکروویو خلاء تفاوت معنی‌داری داشتند (سطح ۹۵٪). همان‌طوری که مشاهده می‌شود (شکل ۴ الف) پودر بدست آمده با خشک‌کن انجمادی و پودر بدست آمده با توان ۳۵ وات در فشار ۶۰ میلی‌بار پایین‌ترین عدد تغییرات کلی رنگ را به خود اختصاص داده‌اند و به طور معنی‌داری با بقیه تیمارها اختلاف دارند (سطح ۹۵٪). علاوه بر این، کلیه تیمارهای خشک‌کن مایکروویو خلاء با یکدیگر اختلاف معنی‌داری داشتند و ۴ سطح خلاء با توان ۳۵ وات نسبت به بقیه تیمارهای مایکروویو خلاء (در همه فشارها) کیفیت رنگ بهتری داشتند و تشابه بیشتر با پودر خشک‌شده با خشک‌کن انجمادی نشان دادند که ناشی از اعمال توان پایین بود.

به طور کلی می‌توان گفت که توان مایکروویو تأثیر بیشتری در تغییر رنگ کلی داشته است. در ضمن، با تغییر میزان فشار تغییر معنی‌داری در رنگ پودرها ملاحظه شد. هم‌چنین، با افزایش توان

در ضخامت ۶/۲ میلی‌متر با تغییر فشار روند خشک‌شدن اندکی با دو ضخامت دیگر تفاوت نشان داد و با افزایش فشار سرعت خشک‌شدن کاهش یافت به طوری که فرآیند خشک‌شدن در فشارهای مطلق ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی‌بار به ترتیب ۲۵۰، ۲۷۰، ۲۹۰ و ۲۹۰ دقیقه به طول انجامید. با توجه به روند مشاهده شده می‌توان این چنین نتیجه گرفت که با افزایش تدریجی ضخامت تأثیر انتشار رطوبت نسبت به نرخ اتلاف انرژی در فرآیند خشک‌شدن مشهودتر می‌شود (بر خلاف ضخامت ۲/۲ که فرآیند خشک‌شدن بیشتر با نرخ اتلاف انرژی کنترل می‌شد) و هرچه فشار مطلق پایین‌تر باشد سرعت خشک‌شدن افزایش می‌یابد؛ زیرا اختلاف فشار بیشتری داخل نمونه با فضای اطراف در ضخامت‌های بیشتر بوجود می‌آید.

تأثیر تیمارهای مختلف روی برخی ویژگی‌های پودر ماست

بعد از اتمام فرآیند خشک‌کردن و خرد کردن لایه‌های نازک خشک‌شده، پودر ماست تهیه شد که در نهایت برای این که محدوده اندازه پودر مشخص شود، از دو الک با مش ۸۰ و ۲۳۰ استفاده شد که پودرهای عبوری از الک ۸۰ و جمع شده روی الک ۲۳۰ (۸۰-#، ۲۳۰+#) برای تجزیه‌های بعدی استفاده شدند. از آنجایی که اندازه این پودرها در حدود ۶۳ تا ۱۷۷ میکرون بود بنابراین، طبق استاندارد داروسازی بریتانیا جزء پودرهای نرم طبقه‌بندی شدند (Barbosa *et al.*, 2005). در ادامه، تأثیر تیمارهای اعمال شده در سه زیربخش تحت عنوان ویژگی‌های شیمیایی، رنگ و عملکردی مورد بررسی و بحث قرار گرفته‌اند.

۴ ویژگی‌های شیمیایی

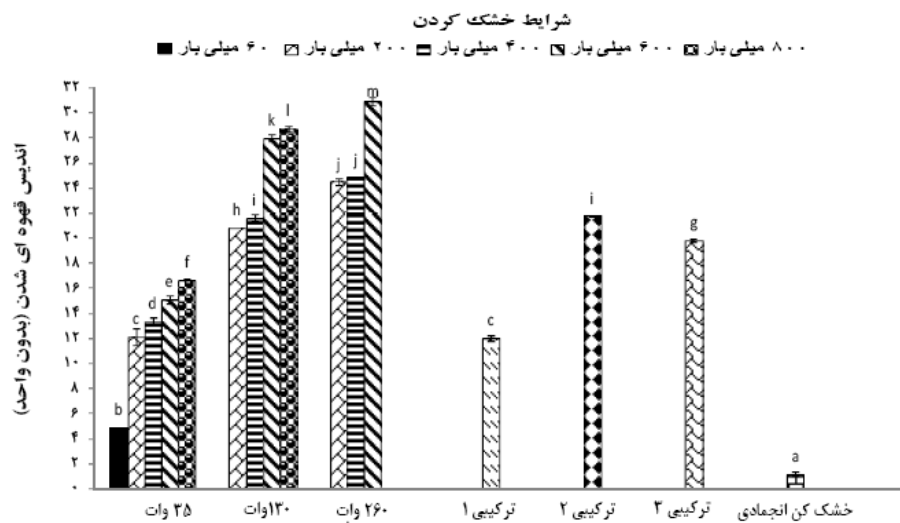
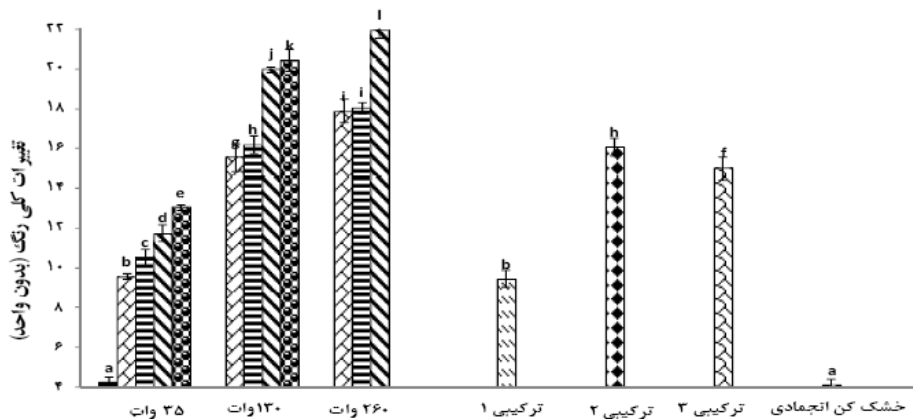
ماده خشک پودرهای بدست آمده با همه روش‌های خشک‌کردن در محدوده ۹۴/۶۶٪ تا ۹۴/۹۹٪ قرار داشتند که از لحاظ آماری نیز با هم تفاوت معنی‌داری نداشتند. البته طبق منطق نیوتنی، انتظار نمی‌رفت تا تفاوتی هم دیده شود. در هر صورت، مقدار ماده خشک بدست آمده برای پودرها تقریباً در محدوده استاندارد تعیین شده توسط کدکس (حداکثر رطوبت مجاز ۵٪) بود (Anonymous, 1999). لازم به ذکر است که در حین فرآیند خشک‌کردن برای پی بردن به رطوبت پایانی نیز از طریق موازنه جرم، مقادیر ماده خشک بدست آمد؛ اما از آنجا که احتمال خطای ناشی از پرتاب‌های جزئی ماست وجود داشت بعد از اتمام فرآیند خشک‌شدن ماده خشک با روش آون (۱۰۲ °C) نیز اندازه‌گیری شد.

اسیدیته قابل تیترا نیز، به عنوان شاخصی از فعالیت باکتری‌های ماست در تجزیه لاکتوز، اندازه‌گیری شد. هدف اصلی از اندازه‌گیری

مایکروویو تغییرات کلی رنگ افزایش نشان داد اما این افزایش در فشارهای بالاتر مشهودتر بود. علاوه بر این، از نظر این شاخص اختلاف معنی داری بین تیمار ترکیبی ۱ و تیمار ۳۵ وات، فشار مطلق ۲۰۰ میلی بار مشاهده نشد که نشان دهنده عدم تأثیر پیش تیمار انجماد روی کیفیت رنگ پودر ماست بود. اصولاً هرچه عدد بدست آمده برای شاخص تغییرات کلی رنگ پایین تر باشد یعنی تغییرات رنگ آن نسبت به کاشی سفید کمتر بوده و پودر تهیه شده دارای رنگ سفیدتر و مطلوبیت بهتری است.

شاخص بعدی (شکل ۴ ب)، به عبارتی مهم ترین شاخص اندازه گیری شده، شاخص قهوه ای شدن بود. این شاخص خلوص رنگ قهوه ای را نشان می دهد و به عنوان یک شاخص مهم در فرآیندهایی که قهوه ای شدن آنزیمی و غیر آنزیمی رخ می دهد گزارش می گردد

مقدار بالای این شاخص نامطلوب بوده و هر چه مقدار این شاخص بالاتر باشد رنگ پودر تولیدی تیره تر خواهد بود. با توجه به نتایج بدست آمده می توان چنین استنباط کرد که چون دمای اعمال شده در خشک کن انجمادی همان دمای محیط (حدود ۲۲ درجه سانتی گراد) بوده در نتیجه تغییر خاصی در میزان این شاخص دیده نمی شود. در حالی که برای تیمار انجام شده در توان ۳۵ وات و فشار مطلق ۶۰ میلی بار دمایی نمونه تا وقتی که مقدار محتوای آب بیشتر از ۲ بود همان دمای تبخیر آب در فشار ۶۰ میلی بار (حدود ۳۶ درجه سانتی گراد) بوده (Cui et al., 2004) اما بعد از آن احتمالاً افزایش دما منجر به انجام واکنش مایلارد به دلیل حضور همزمان قند و پروتئین شده در نتیجه شاخص قهوه ای شدن افزایش یافته است.



شکل ۴: تأثیر روش های مختلف خشک کردن روی الف) تغییرات کلی رنگ و ب) شاخص قهوه ای شدن پودر ماست

در سایر تیمارها چون دمای تبخیر بالا و بین ۶۰ تا ۹۳ درجه سانتی‌گراد قرار داشت (به دلیل فشار بالای محفظه) پس واکنش مایلارد با شدت بیشتری انجام گرفته و میزان این شاخص زیادتر شده است. اصولاً گزارش شده که میزان قهوه‌ای شدن به ازاء افزایش هر 10°C دما، ۲ الی ۳ برابر افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که سرعت واکنش مایلارد بستگی زیاد به میزان فعالیت آبی فرآورده داشته به طوری که در محدوده $0/7 \pm 0/6$ سرعت این واکنش در حد بیشینه می‌باشد (Nursten, 2005). ولی از آنجایی که در مراحل پایانی خشک شدن میزان فعالیت آبی پودر کمتر از مقدار ذکر شده بود اما به دلیل افزایش تدریجی دما، این واکنش با شدت بیشتر انجام و افزایش چشم‌گیری در شاخص قهوه‌ای شدن روی داد. به طور کلی می‌توان گفت که تغییرات رنگ با توجه به ۲ شاخص اندازه‌گیری شده تقریباً روند مشابهی را داشته و با افزایش توان مایکروویو و افزایش فشار (بخصوص در توان‌های بالا) از کیفیت رنگ پودر تولیدی کاسته شد و به طور کلی توان از اهمیت بیشتری در تغییر رنگ برخوردار بوده است. البته در ارتباط با دو توان ۱۳۰ و ۲۶۰ وات می‌توان گفت که فشار نیز نقش بسزایی در مقدار این دو شاخص داشته است چون با نگاه کردن به شکل می‌توان دید که این شاخص‌ها مثلاً برای فشار ۴۰۰ میلی‌بار در توان ۲۶۰ وات نسبت به فشار ۸۰۰ میلی‌بار در توان ۱۳۰ وات خیلی پایین‌تر است.

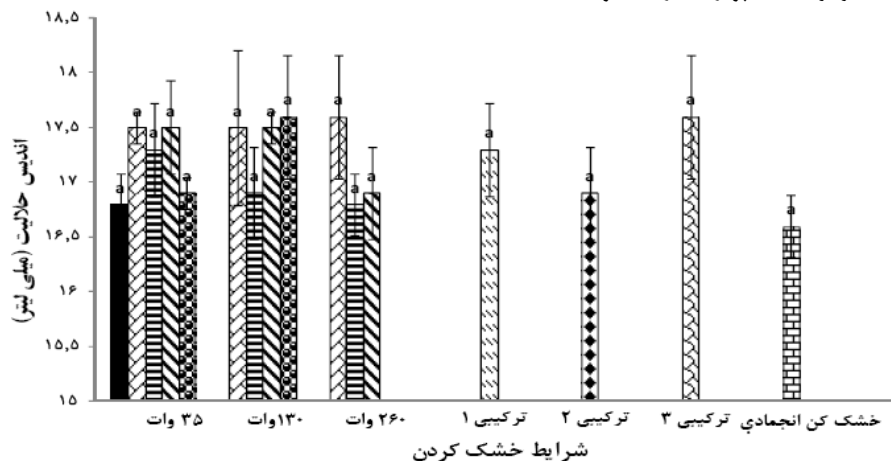
۴ ویژگی‌های عملکردی

شاخص حلالیت یکی از مهم‌ترین متغیرهای اندازه‌گیری شده بود که از اهمیت ویژه‌ای برای پودرهای غذایی برخوردار می‌باشد. زیرا در پودرهای با حلالیت پایین ممکن است برخی مواد جامد به صورت مواد نامحلول از چرخه‌ی مصرف خارج شوند که این مسئله منجر به بروز مشکلاتی در فرآوری و زبان‌های اقتصادی می‌شود. بهر تقدیر، مقدار این شاخص در بررسی حاضر برای همه پودرها در محدوده ۱۶/۶ تا

۱۷/۵ میلی‌لیتر بود و تفاوت معنی‌داری (در سطح ۵٪) بین تیمارها دیده نشد (شکل ۵). اصولاً هرچه عدد مربوط به شاخص انحلال بزرگ‌تر باشد محلولیت پودر پایین‌تر است. با توجه به بررسی‌های انجام شده، استاندارد خاصی در ارتباط با محدوده مجاز شاخص حلالیت در دسترس نیست اما انسیتوی محصولات لبنی آمریکا (ADPI) برای پودر شیری که با روش غلتکی بدست آمده باشد حداکثر مجاز این شاخص را ۱۵ میلی‌لیتر گزارش نموده است که نزدیک شاخص بدست آمده برای پودرهای ماست در این تحقیق می‌باشد. لازم به ذکر است که ADPI برای پودر شیر که به‌طور تجاری اکثراً با روش خشک‌کن پاششی تولید می‌شود؛ این اندیس را در حدود ۱/۲۵ میلی‌لیتر گزارش کرده است.

به نظر می‌رسد که تیمار حرارتی اولیه انجام شده روی شیر مورد استفاده برای تهیه ماست و نحوه خشک‌کردن تأثیر زیادی در افزایش این شاخص برای پودر ماست به دست آمده داشتند. گرچه در برخی منابع علمی یکی از دلایل افزایش شاخص حلالیت، تشکیل محصولات واکنش مایلارد گزارش شده است (Wright et al., 2009) ولی نتایج بررسی حاضر چنین نظریه‌ای را دست‌کم در مورد ماست تأیید نمی‌کند. زیرا حداقل در خشک‌کن انجمادی این واکنش اتفاق نیفتاده است؛ اما شاخص حلالیت پودر تهیه شده با این روش مشابه سایر تیمارهاست.

عامل دیگری که مستقیماً باعث افزایش شاخص حلالیت می‌شود حضور اسید لاکتیک می‌باشد (Sithole et al., 2006) که میزان آن در ماست بسیار فراوان‌تر از شیر بوده و در همه تیمارها تقریباً به مقدار یکسان وجود داشته است. بنابراین، احتمالاً در بررسی حاضر این ترکیب نقش اصلی را در افزایش شاخص حلالیت داشته است.



شکل ۵ تأثیر روش‌های مختلف خشک‌کردن ماست روی شاخص حلالیت پودرهای تولید شده

تهیه شده با خشک‌کن انجمادی در حدود 380 kg/m^3 و پودرهای تولید شده با خشک‌کن مایکروویو خلاء در حدود 740 kg/m^3 بودند که اعداد بدست آمده مشابه نتایج سایر پژوهش‌گران بود (Sharma and Arora, 1995; Kumar and Mishra, 2004). البته برای خشک‌کن انجمادی چگالی پودرها تا حدودی با چگالی بدست آمده توسط شارما و آرورا (۱۹۹۵) متفاوت است که احتمالاً ناشی از تفاوت در اندازه پودرها باشد که در گزارش آن‌ها اندازه پودرها ذکر نشده است. هم‌چنین، بین پودرهای تولید شده با خشک‌کن مایکروویو خلاء نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، که احتمالاً به خاطر ضخامت کم ماست حین خشک کردن بوده است.

چون ضخامت کم بود احتمالاً تخلخل قابل توجهی در پودرهای تولید شده در فشارهای مختلف ایجاد نگردید و چگالی برای همه یکسان بدست آمد. در خشک‌کن انجمادی چون بدون فروریختن ساختار ماده غذایی آب از حالت یخ به بخار تصعید می‌شود؛ بنابراین، بافت ماده خشک شده پر از خلل و فرج می‌باشد که این امر به نوبه خود روی چگالی حجمی تأثیرگذار است.

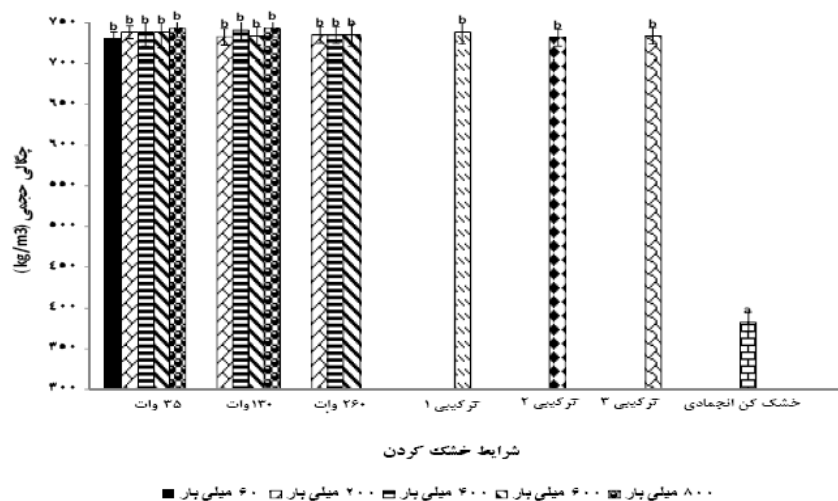
از جمله ویژگی‌هایی که در این پژوهش مورد ارزیابی قرار گرفت میزان پراکنش پودرها بود که از لحاظ تعریفی عبارت است از پخش شدن یکنواخت ذرات پودر در مایع (عباسی، ۱۳۸۸؛ Kumar and Barbosa Canovas *et al.*, 2005). بنابراین، پودری که دارای پراکنش بالایی است در مقابل پودر با پراکنش پایین زمان کمتر یا نیروی کمتری برای پخش شدن در مایع نیاز دارد (Wright *et al.*, 2009). در مطالعه حاضر، خاصیت پراکنش با تعداد دفعات مورد نیاز برای تکان دادن رابطه معکوس داشت.

دیگر نکته قابل توجه در رابطه با یافته‌های این بررسی عدم وجود تفاوت معنی‌دار بین شاخص حلالیت پودر بدست آمده از خشک‌کن انجمادی و خشک‌کن مایکروویو خلاء می‌باشد، که این یافته احتمالاً دلیلی بر عدم تأثیر حرارت بر مقدار این شاخص بود.

در رابطه با میزان چگالی حجمی نیز باید گفت که میزان این شاخص برای پودرهای بدست آمده با روش خشک‌کن مایکروویو خلاء به طور معنی‌داری با چگالی حجمی پودر تولید شده با خشک‌کن انجمادی تفاوت داشت (سطح ۹۵٪). هر چه چگالی حجمی پودر بالاتر باشد از لحاظ بسته بندی مقرون به صرفه‌تر است زیرا به فضای کمتری نیاز است. در بررسی حاضر چگالی پودرهای مایکروویو خلاء تقریباً ۲ برابر چگالی حجمی پودر تهیه شده با خشک‌کن انجمادی بود که می‌توان گفت با توجه به اینکه ضخامت لایه ماست خیلی کم بود (حدود ۲/۲ میلی‌متر) بافت خیلی متخلخلی در پودر تولید شده با مایکروویو خلاء بوجود نیامد و به دلیل بافت متراکم آن چگالی آن زیاد شد.

در هنگام مخلوط کردن، حمل و نقل، ذخیره سازی و بسته بندی مواد غذایی نظیر انواع پودرها و آردها دانستن چگالی توده بسیار حائز اهمیت است. وقتی چنین موادی درون ظرف ریخته می‌شوند حجم زیادی از فضای اشغال شده توسط ماده غذایی را هوا تشکیل می‌دهد. بنابراین، چگالی توده مواد غذایی بستگی به عوامل مختلفی نظیر چگالی واقعی، شکل هندسی، اندازه، خواص سطحی، مقدار رطوبت و روش اندازه‌گیری دارد. بنابراین، به خوبی می‌توان دریافت که پیچیدگی عوامل موثر بر چگالی حجمی نسبت به چگالی واقعی بیشتر است (عباسی، ۱۳۸۸؛ Kumar and Mishra, 2004 ; Barbosa Canovas *et al.*, 2005).

همان‌گونه که در شکل ۶ نیز مشخص است چگالی حجمی پودر



شکل ۶- تأثیر روش‌های مختلف خشک کردن روی چگالی حجمی پودر ماست

در ارتباط با چگالی حجمی، نمونه‌های بدست آمده از ماست با ضخامت ۴/۲ و ۶/۲ میلی‌متری در سطح ۵٪ با نمونه‌های ۲/۲ میلی‌متری تفاوت معنی‌داری نشان دادند (شکل ۸). اما بین ۴/۲ و ۶/۲ میلی‌متری و هم‌چنین، فشارهای مختلف با ضخامت یکسان تفاوتی دیده نشد (شکل ۴). در رابطه با دلیل چنین تفاوت‌هایی شاید بتوان گفت که چون در ضخامت‌های ۴/۲ و ۶/۲ میلی‌متر امکان بوجود آمدن خلل و فرج نسبت به ۲/۲ میلی‌متر بیشتر است در نتیجه چگالی حجمی این دو ضخامت کمتر شده است.

چگالی حجمی متوسط برای ضخامت‌های ۲/۲، ۴/۲ و ۶/۲ میلی‌متر به ترتیب ۷۴۰، ۶۲۴ و ۶۳۳ کیلوگرم بر متر مکعب بدست آمد. احتمالاً علت عدم وجود تفاوت معنی‌داری چگالی حجمی برای ضخامت یکسان مثلاً ۴/۲ میلی‌متر در فشارهای مختلف این نکته است که ضخامت نمونه‌های ماست آنقدر زیاد نبوده است که با اعمال فشارهای مختلف یک حالت پف شده در نمونه بوجود آید؛ ولی امکان دارد در ضخامت‌های نسبتاً بالا (نظیر ۳ الی ۵ سانتی‌متر) فشار نقش خود را در این عامل پر رنگ‌تر نشان دهد و با کاهش فشار از چگالی حجمی کاسته شود.

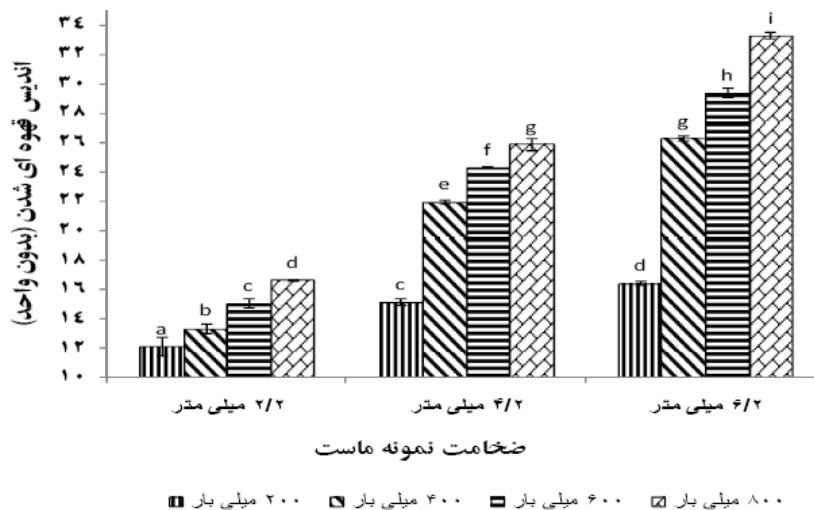
به طور کلی مقایسه ضخامت‌های مختلف نشان داد که پودر بدست آمده از ضخامت ۴/۲ میلی‌متر در فشار مطلق ۲۰۰ میلی‌بار و توان ۳۵ وات مایکروویو به دلیل داشتن رنگ نسبتاً مناسب و نمونه بدست آمده بیشتر در هر بار خشک‌کردن (حدود ۵ گرم در برابر ۲/۵ گرم بدست آمده از ضخامت ۲/۲ میلی‌متر) به عنوان ضخامت مناسب انتخاب شد.

بنابراین، پودری با تعداد دفعات کمتر مورد نیاز برای تکان دادن خاصیت پراکنش بالاتری داشت. خاصیت پراکنش برای پودرهای بدست آمده با هر دو روش خشک‌کردن در حدود 70 ± 25 بود که با نتایج بدست آمده توسط شاکر و همکاران هم‌خوانی داشت (Shaker *et al.*, 1999). بالا بودن انحراف از میانگین در این تیمار نشان‌دهنده وجود خطای زیاد در روش تعیین خاصیت پراکنش می‌باشد.

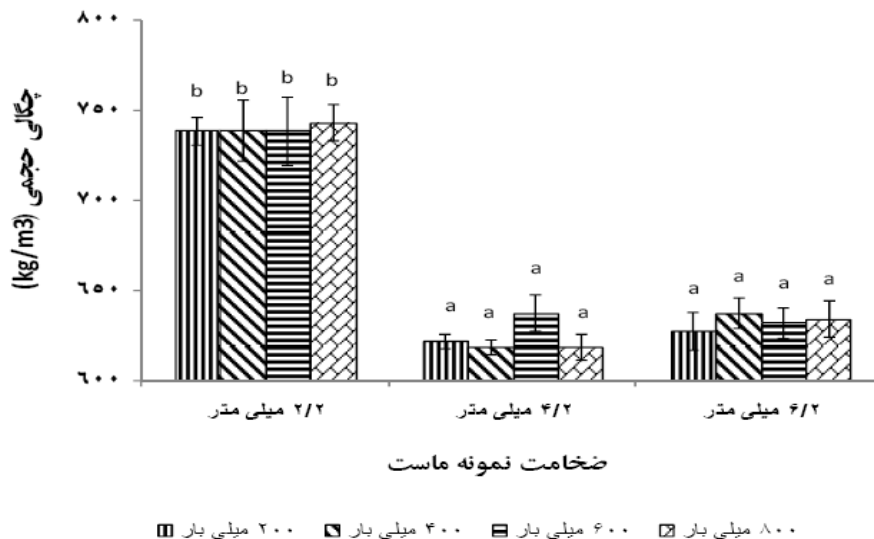
تأثیر ضخامت روی برخی ویژگی‌های پودر ماست

افزایش ضخامت روی برخی ویژگی‌های پودر تولیدی نظیر ماده خشک، اسیدیته قابل تیتر، چربی، اندیس حلالیت و خاصیت پراکنش معنی دار نبود؛ در حالی که روی رنگ و چگالی حجمی تأثیر معنی‌داری نشان داد.

همان‌طوری که قبلاً نیز ذکر شد برای مقایسه رنگ پودرها از دو شاخص تغییرات کلی رنگ و اندیس قهوه‌ای شدن استفاده شد؛ که تأثیر ضخامت روی این دو شاخص کاملاً مشابه هم بود و با افزایش ضخامت به‌طور کلی روند افزایشی در این شاخص‌ها دیده شد که نتایج برای اندیس قهوه‌ای شدن در شکل ۷ نشان داده شده است. البته شایان ذکر است که فشار نیز بی‌تأثیر نبود، به‌طوری‌که این دو شاخص در فشار ۲۰۰ میلی‌بار برای ضخامت ۴/۲ میلی‌متر پایین‌تر یا مساوی فشار ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی‌بار در ضخامت ۲/۲ میلی‌متر بود، که دلیل این تغییر احتمالاً عدم انجام واکنش مایلارد با شدت بالا به خاطر دمای پایین تبخیر آب در فشار پایین می‌باشد اگر چه مدت زمان خشک شدن نسبتاً طولانی بود.



شکل ۷ تأثیر ضخامت‌های مختلف ماست حین خشک شدن توسط خشک‌کن مایکروویو-خلا تحت شرایط مختلف فشار مطلق روی اندیس قهوه‌ای شدن پودر ماست



شکل ۸ تأثیر ضخامت‌های مختلف ماست حین خشک شدن توسط خشک‌کن مایکروویو-خلاء تحت شرایط مختلف فشار مطلق روی چگالی حجمی

لحاظ ویژگی‌های رنگ با پودرهای خشک‌کن مایکروویو خلاء اختلاف معنی‌داری داشت و از کیفیت بالاتری برخوردار بود اما از لحاظ سایر ویژگی‌ها یا تفاوت‌ها غیرمعنی‌دار بودند یا این‌که خشک‌کن مایکروویو خلا بهتر از خشک‌کن انجمادی ارزیابی شد. لازم به ذکر است که حضور اسید لاکتیک به‌عنوان عامل اصلی افزایش شاخص حلالیت شناخته شد. به‌طور کلی می‌توان خشک‌کن مایکروویو خلاء را به‌عنوان جایگزینی مناسب برای خشک‌کن انجمادی (با وجود برخی مزیت‌های خوب خشک‌کن انجمادی) معرفی کرد. در پایان بایستی تاکید نمود که پودر ماست یک ترکیب غذایی جدید و بسیار باارزشی است که باید کارهای بیشتری روی تولید این فرآورده مفید و بهینه کردن شرایط فرآیند آن انجام گیرد.

نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از این بررسی که جزء معدود تحقیقات انجام شده روی تهیه پودر ماست با استفاده از خشک‌کن مایکروویو خلاء می‌باشد نشان داد که فرآیند خشک‌کردن در فشار ۶۰ میلی‌بار و توان ۳۵ وات بهترین شرایطی است که در طی آن ضمن کاهش قابل توجه مدت زمان خشک کردن (بیش از ۸۰ درصد) ویژگی‌های کیفی پودر حاصل بیش‌ترین تشابه را با پودرهای تهیه شده با خشک‌کن انجمادی داشت. هم‌چنین، توان مایکروویو و ضخامت نمونه ماست تأثیر بسزایی در سرعت فرآیند خشک‌شدن با مایکروویو خلاء و کیفیت پودرها داشت درحالی‌که نقش فشار در مقابل آن خیلی کم رنگ‌تر بود. در ضمن، پودر تولید شده با خشک‌کن انجمادی فقط از

منابع

- ۱- عباسی، س. ۱۳۸۸. شیمی و فن‌آوری شیر و فرآورده‌های آن. درس‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، گروه علوم و صنایع غذایی، ۱۸۴ ص.
- ۲- مظاهری تهرانی، م.، رضوی، س.م.ع.، و طلاکار، ح. ۱۳۸۷. اثر افزایش ماده بدون چربی شیر و کلرید کلسیم بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و حسی ماست غلیظ شده. مجله پژوهش‌های علوم و صنایع غذایی ایران، ۴ (۱): ۶۹-۷۷.
- 3- Abbasi, S., and Azari, S. 2009. Novel microwave-freeze drying of onion slices. *International Journal of Food Science & Technology*, 44: 974-979.
- 4- Anonymous, 1999. Codex standard for milk powders and cream powder, codex standard 207-1999.
- 5- AOAC. 1999. Official Methods for Analysis, 15th ed. (Vol. II). Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists.
- 6- Barbosa Canovas, G. V., Ortega Rivas E., Juliano, P. and Yan H. 2005. *Food Powders*. New York, USA: Plenum Publishers.
- 7- Bondaruk, J., Markowski, M. and Blaszcak, W. 2007. Effect of drying conditions on the quality of vacuum-microwave dried potato cubes. *Journal of Food Engineering*, 81: 306-312.

- 8- Cui, Z. W., Xu, S. Y. and Sun, D. W. 2004. Microwave–vacuum drying kinetics of carrot slices. *Journal of Food Engineering*, 65: 157–164.
- 9- Giri, S.K. & Prasad, S. 2007. Drying kinetics and rehydration characteristics of microwave–vacuum and convective hot-air dried mushrooms. *Journal of Food Engineering*, 78, 512–521.
- 10- Hamann, W.T. and Marth, E. H. 1984. Survival of *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus bulgaricus* in commercial and experimental yogurts. *Journal of Food Protection*, 47: 781–786.
- 11- Kim, S.S., and Bhowmik, S.R. 1994. Moisture sorption isotherms of concentrated yoghurt and microwave–vacuum dried yoghurt powder. *Journal of Food Engineering*, 21: 157–175.
- 12- Kim, S.S., and Bhowmik, S.R. 1995. Effective moisture diffusivity of plain yoghurt undergoing microwave–vacuum drying. *Journal of Food Engineering*, 24: 137–138.
- 13- Kumar, P. and Mishra, H. N. 2004. Yoghurt powder—A review of process technology, storage and utilization. *Food and Bioproducts Processing*, 82(C2): 133–142.
- 14- Mohammadi, A., Rafiee, Sh., Emam Djomeh, Z. and Keyhani, A. 2008. Kinetic models for colour changes in kiwifruit slices during hot air drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4: 376–383.
- 15- Nursten, H. 2005. *The Maillard Reaction, Chemistry, Biochemistry and Implications*. Atheneum Press Ltd, Gateshead, Tyne and Wear, UK.
- 16- Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G. V., Welti-Chanes, J. and Swanson, B. G. 1999. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated *banana puree*. *Journal of Food Science*, 64: 42–45.
- 17- Pappas, C., Tsami, E. and Marinos-Kouris, D. 1999. The effect of process conditions on the drying kinetics and rehydration characteristics of some microwave–vacuum dehydration fruits. *Drying Technology*, 17: 157–174.
- 18- Sarkar, S. and Misra, A. K. 2002. Yoghurt: Nutritional and therapeutic aspects. *Indian Journal of Microbiology*, 42: 275–287.
- 19- Shaker, R.R., Jumah, R.Y., Tashtoush, B. and Zraiy, A.F. 1999. Manufacture of jameed using a spray drying process: a preliminary study. *International Journal of Dairy Technology*, 52: 77–80.
- 20- Sharma, N. K., and Arora, C. P. 1995. Influence of product thickness, chamber pressure, and heating conditions on production rate of freeze-dried yoghurt. *International Journal of Refrigeration*, 18: 297–307.
- 21- Sithole R., Mcdaniel, M. R. and Goddik, L. M. 2006. Physicochemical, microbiological, aroma, and flavor profile of selected commercial sweet whey powders. *Journal of Food Science*, 71: C157–C163.
- 22- Tamime, A. Y. and Robinson, R. K. 2007. *Yoghurt Science and Technology*. 3rd ed. Cambridge: Woodheads Publishing Limited.
- 23- Tao, Z., Wu, H., Chen, G. and Deng, H. 2005. Numerical simulation of conjugated heat and mass transfer process within cylindrical porous media with cylindrical dielectric cores in microwave freeze–drying. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48: 561–572.
- 24- Tein, M. L., Timothy, D. D. and Christine, H. S. 1998. Characterization of vacuum microwave, air and freeze dried carrot slices. *Food Research International*, 31: 111–117.
- 25- Venkatesh, M. S. and Raghavan, G. S. V. 2004. An overview of microwave processing and dielectric properties of agri-food materials. *Biosystems Engineering*, 88: 1–18.
- 26- Wang, Z., Sun, J., Liao, X., Chen F., Zhao, G., Wu, J. and Hu, X. 2007. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. *Food Research International*, 40: 39–46.
- 27- Wright, B. J., Zevchak, S.E., Wright, J. M. and Drake, M. A. 2009. The impact of agglomeration and storage on flavor and flavor stability of whey protein concentrate 80% and whey protein isolate. *Journal of Food Science*, 74: S17–S29.