

# اثر فرمولاسیون و دماهای خشک کردن مختلف بر خواص فیزیکی پودر پنیر ریکوتا با مدل آنالیز خوشه‌ای

زهرا باقری<sup>۱\*</sup>، علی معتمدزادگان<sup>۲</sup>، رضا خان‌بابائی<sup>۳</sup>، ایوب فرهادی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۲- دانشیار گروه صنایع غذایی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- استادیار گروه فیزیک دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۴- استادیار گروه علوم دامی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

(تاریخ دریافت: ۹۸/۰۳/۲۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۶/۱۶)

## چکیده

آنالیز خوشه‌ای ابزاری چند متغیره، برای سازماندهی مجموعه داده‌های چند متغیره (مشاهدات، اجزاء) به گروه‌هایی به نام خوشه‌ها استفاده می‌شود. روش آنالیز خوشه‌ای با اثر تیمارهای نسبت شیر و آب‌پنیر (فرمولاسیون) و دمای خشک کردن کف‌پوشی، بر یکسری از صفات پودر پنیر ریکوتا انجام شد. در این پژوهش از ۴ نوع فرمولاسیون و ۶ دمای خشک کردن برای بررسی صفات دانسیته، هیگروسکوپی و فاکتورهای رنگی برای یافتن فرمولاسیون و دمای بهینه که خواص فیزیکی مناسب را ایجاد کند، استفاده شد. طبقنتایج آنالیز واریانس، در دمای بالا به دلیل سرعت بخار بیشتر، کاهش دانسیته و افزایش هیگروسکوپی را نشان داد ( $p < 0.05$ ). همچنین با افزایش دما، شاخص افزایش و شاخص‌های  $a$  و  $b$  کاهش یافتند. با توجه به نتایج آنالیز خوشه‌ای، کمترین عدم تشابه بین تیمارها و همچنین به دلیل کمترین میزان واریانس درون گروهی، خوشه ۲ به عنوان مناسب‌ترین خوشه انتخاب شد. در این خوشه، پنیرهای با درصد بالای آب‌پنیر در ترکیب فرمولاسیون و دماهای پایین برای خشک کردن کف‌پوشی به چشم می‌خورد. با توجه به نتایج، روش‌نمایی (L) پودرهای این خوشه بالاتر بوده همچنین در دماهای پایین‌تر میزان دانسیته و هیگروسکوپی پایین‌تری دارند. به طور کلی، استفاده از آنالیز خوشه‌ای برای انتخاب فرمولاسیون خشک کردن کف‌پوشی پنیر ریکوتا روش مناسبی می‌باشد.

**کلید واژگان:** آنالیز خوشه‌ای، مدل سازی، ریکوتا، خشک کردن کف‌پوشی

\*مسئول مکاتبات: z.bagheri808@gmail.com

## ۱- مقدمه

جفت دیگری از خوشه‌ها ادامه پیدا می‌کند. این روش تا زمانی ادامه می‌یابد که تمامی خوشه‌ها به یک خوشه بزرگ ادغام شوند. خوشه‌بندی در زمینه‌های مختلف صنایع غذایی موفقیت‌آمیز بوده است [۷]. عزیزپور و همکاران (۲۰۱۷) اثر هیدروکلوئیدهای مختلف بر خواص کف پوره میگو را با مدل آنالیز خوشه‌ای مورد بررسی قرار دادند. در این تحقیق اثر انواع مختلف هیدروکلوئیدها را بر روی خواص کف میگو برای انتخاب بهترین پایدارکننده بررسی کردند. کف میگو بدون افزودن صمغ، بالاترین حجم زه کشی را نشان داد، به طوری که با افزایش غلظت تمامی صمغ‌ها میزان زه‌کشی کف کاهش پیدا کرد. با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل خوشه‌ای، صمغ عربی در سه غلظت (خوشه ۵) بهترین اثر (کمترین حجم زه‌کشی و دانسیته کف) را بر خواص پوره میگو داشت [۹]. پاسبان و همکاران (۲۰۱۴) اثرات هیدروکلوئیدی بومی و صمغ زانتان را بر خواص کف پوره قارچ دکمه‌ای سفید با استفاده از آنالیز خوشه‌ای بررسی کردند. به طور کلی ارزیابی نتایج خوشه‌بندی و تجزیه و تحلیل آماری نشان داد که صمغ زانتان در  $W/W$  ۰/۱ و صمغ دانه شاهی در  $W/W$  ۰/۳ و ۰/۵ برای استفاده در خشک کردن پوره قارچ دکمه‌ای سفید مناسب‌تر است [۱۰]. هدف از پژوهش حاضر بررسی و مقایسه اثرات فرمولاسیون‌های مختلف برای تولید پنیر ریکوتا و دماهای مختلف خشک کردن کف‌پوشی بر خواص فیزیکی پودر پنیر ریکوتا و یافتن بهترین الگو برای تولید پودر پنیر با ویژگی مناسب می‌باشد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- مواد

برای این پژوهش پودر آب‌پنیر و شیرخشک (شرکت پگاه فارس)، پودر سفیده تخم مرغ (تهیه شده از فروشگاه لوازم قنادی) و صمغ زانتان (شرکت ریحان گام پارسیان) خریداری شدند. تجهیزات مورد استفاده شامل آون (مدل Memert, UFLLO، آلمان)، سانتریفیوژ (مدل T4-50CC، اروم تجهیز، ایران)، همزن برقی خانگی (مدل GHM818، GOSONIC، چین)، گوشت‌کوب برقی (مدل Braun.MQ-320، آلمان)، ترازوی دیجیتال (-HS، MT electronic 300S، چین)، pH متر (مدل CP-511، ELMETRON، لهستان) و لوازم شیشه‌ای بود.

### ۲-۲- تولید پنیر ریکوتا

چهار نوع پنیر ریکوتا با نسبت‌های متفاوت از شیر و آب‌پنیر (فرمولاسیون ۱: ۰-۱۰۰، فرمولاسیون ۲: ۳۳/۳-۶۶/۷،

پنیر ریکوتا یا پنیر دوباره پخته شده<sup>۱</sup> یک محصول لبنی با منشأ ایتالیایی است، پنیر آب‌پنیری یک محصول جانبی از صنایع لبنی است که عمدتاً حاوی لاکتوز، پروتئین‌های محلول، مواد معدنی و چربی شیر است که ممکن است حدود ۵۰ درصد مواد جامد شیر را به خود اختصاص دهد [۱]. پنیر ریکوتا رطوبت بالا و pH اولیه بالاتر از ۶ دارد و به علت خواص تغذیه‌ای، فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی آن، محیط مناسبی برای تکثیر میکروارگانیسم‌ها می‌باشد [۲]. خشک کردن کف‌پوشی پنیر ریکوتا می‌تواند علاوه بر افزایش ماندگاری، نسبت به سایر روش‌های خشک کردن ویژگی‌های کیفی بهتر و هزینه کمتری را داشته باشد. خشک کردن کف‌پوش فرایندی است که طی آن یک ماده غذایی مایع یا نیمه مایع همزده می‌شود تا کف پایداری ایجاد شود، سپس با روش‌های حرارتی خشک می‌شود. مزایای اصلی این روش عبارتند از، دمای خشک کردن پایین و زمان خشک شدن کوتاه‌تر [۳]. خشک کردن کف‌پوشی معمولاً تحت شرایط خفیف درجه حرارت باعث خسارت و یا تغییرات جزئی در کیفیت محصول می‌شود [۴]. همچنین پودرهای ایجاد شده با کف‌پوشی، فرآیند بازسازی خوبی در آب دارند [۵]. اثر قابل توجهی از دمای هوای ورودی و فرمولاسیون بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی پودرها گزارش شده است. از این خصوصیات برای ارزیابی مدت زمان ذخیره سازی، فرایندها، بسته‌بندی و شرایط توزیع استفاده می‌شود [۶]. بررسی خصوصیات فیزیکی پودر پنیر تهیه شده به روش کف‌پوشی یکی از روش‌های بررسی فرایند تولید پودر پنیر ریکوتا برای یافتن پودری با خصوصیات مطلوب می‌باشد. ویژگی‌های مورد بررسی در این پژوهش دانسیته، هیگروسکوپ و پارامترهای رنگی پودر می‌باشند.

آنالیز خوشه‌ای روشی برای تقسیم‌بندی و شناسایی گروه‌های همگن از اجزا (یا موارد، مشاهدات) که خوشه نامیده می‌شود. به همان اندازه که ممکن است اجزا در خوشه‌ای خاص با یکدیگر مشابه باشند، به همان اندازه نیز امکان دارد با اجزای خوشه‌های دیگر متفاوت باشند [۷]. هدف از خوشه‌بندی شناسایی گروه‌بندی طبیعی داده‌ها که از یک مجموعه بزرگ داده بدست آمده، برای ایجاد نمایشی مختصر از رفتار سیستم می‌باشد [۸]. در ایندسته، خوشه‌ها به طور پیوسته از خوشه‌های تکی شروع می‌شود. سپس به صورت یکپارچه ادغام شده تا خوشه‌های چندگانه را تشکیل دهند، پس از ادغام دو خوشه نزدیک به هم، روش خوشه‌بندی آگلومره همچنان با ادغام

1. Recooked

بین آنها بر صفات مختلف پودر پنیر با استفاده از رویه مدل خطی تعمیم یافته (GLM) در نرم افزار آماری SAS ویرایش ۹/۱ انجام شد.

## ۲-۶- آنالیز خوشه‌ای<sup>۳</sup>

جهت تعیین بهترین ترکیب بین دما (۷۵-۵۵ °C) و نسبت شیر به آب پنیر (۱۰۰-۰) از صفات دانسیته پودر، هیگروسکوپ و فاکتورهای رنگ از روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای استفاده شد. در این روش هر نمونه به عنوان یک خوشه در نظر گرفته شد و سپس به نزدیکترین خوشه پیوسته و این کار تا تعیین تنها یک خوشه نهایی که دارای بهترین تاثیر بر صفات مورد نظر باشد ادامه یافت. خوشه‌بندی سلسله مراتبی تجمعی (AHC)<sup>۴</sup> با استفاده از روش Ward برای اندازه‌گیری فاصله بین خوشه‌ها استفاده شد. AHC با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و روش جفت گروه بدون وزن با میانگین حسابی (UPGMA)<sup>۵</sup> به عنوان روش تجمعی در نرم افزار XLSTAT 2016 مورد استفاده قرار گرفت [۹].

## ۳- نتایج و بحث

نتایج تجزیه و تحلیل واریانس نشان داد که به طور کلی اثر فرمولاسیون و دما بر دانسیته و هیگروسکوپ معنی‌دار بوده، همچنین اثر متقابل فرمولاسیون و دما بر شاخص a سطح ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشد ( $p < 0/05$ ) (جدول ۱، ۲، ۳ و ۴).

### ۳-۱- تاثیر فرمولاسیون و دما بر دانسیته

دانسیته پودر برای ارزیابی مدت زمان ذخیره سازی، فرایندها، بسته بندی و شرایط توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد، دانسیته ذرات، اطلاعات ارزشمندی را در مورد خواص ذرات و تعاملات ارائه می‌دهد [۶].

با توجه به جدول ۲ تجزیه واریانس، اثر فرمولاسیون، دما و اثر متقابل آنها بر دانسیته پودر در سطح ۹۵٪ معنی‌دار می‌باشند ( $p < 0/05$ ). طی پژوهشی که به بررسی ویژگی‌های حسی و فیزیکوشیمیایی پنیر ریکوتای خشک شده به روش کف‌پوشی پرداخته شد، در رابطه با تاثیر دما بر دانسیته، در دمای بسیار بالا به دلیل سرعت بخار بیشتر، محصولات با تخلخل و ساختار ریزتر تولید شده و باعث کاهش چروک خوردگی ذرات می‌شود، بنابراین دانسیته کمتر می‌شود [۱۵]. دماهای پایین به خشک شدن یکنواخت ذرات، چروکیدگی کنترل شده ذرات و مقادیر دانسیته بالاتر کمک می‌کند [۱۶].

فرمولاسیون ۳: ۶۶۷-۳۳/۳، فرمولاسیون ۴: ۱۰۰-۰ تهیه شد. جهت تولید پنیر ریکوتا مقادیر مشخصی از پودر آب‌پنیر و شیرخشک در آب حل شد و pH آن با سود (۱ نرمال) تا حدود ۷ تنظیم شد. به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۸۶ درجه حرارت دیده و سپس pH آن با اسیدلاکتیک (۱ نرمال) به ۵ کاهش یافت. برای ایجاد لخته از ساتریفیوژ با دور ۴۰۰۰ به مدت ۱۰ دقیقه استفاده شد [۱۱].

## ۲-۳- آماده‌سازی نمونه‌ها

جهت تولید کف، ۲۰ گرم پنیر ریکوتا به همراه ۳ درصد آلومین و ۰/۱۵ درصد صمغ زانتان، با آب (برای رسیدن محلول به وزن ۱۰۰ گرم) مخلوط شد. محلول تهیه شده با گوشتکوب برقی همزنیزه شد سپس به مدت ۵ دقیقه با همزن برقی، همزه تا کف مناسبی به دست آید. سپس نمونه‌های کف با ضخامت ۵ میلی‌متر در ۶ دما (۷۰°C، ۵۵°C، ۶۰°C، ۶۵°C، ۷۰°C، ۷۵°C) خشک شدند.

## ۲-۴- اندازه‌گیری خصوصیات پودر

### ۲-۴-۱- دانسیته پودر

برای محاسبه دانسیته توده ای، پودر پنیر در استوانه مدرج تا ۱۰ میلی لیتر ریخته و سپس وزن شد [۱۲].

### ۲-۴-۲- هیگروسکوپ

۱ گرم نمونه پودر همراه با محلول اشیاعسدیم کلرید در دسیکاتور قرار داده شد. نمونه پس از ۷-۱۰ روز به بالانس رطوبتی با محیط اطراف خود رسید سپس توزین نمونه انجام شد [۱۳].

### ۲-۴-۳- بررسی رنگ پودر

رنگ پودر پنیر با استفاده از رنگ سنچ Hunter ColorFlex بر اساس L (روشنایی، درخشندگی)، a (قرمز و سبز) و b (زرد و آبی) اندازه گیری شد. یک شیشه ۲/۵ اینچی حاوی پودر پنیر، در بالای منبع نور قرار داده شد که با پوشش مات پوشانده شده است. سپس، مقادیر L، a و b ثبت شده و شاخص قهوه‌ای شدن (BI) به صورت زیر محاسبه شد: [14]

$$BI = \frac{100 \times \left[ \frac{(a + 1.75 \times L)}{(3.645 \times L + a - 3.012 \times b)} \right]}{0.17}$$

## ۲-۵- آنالیز آماری

پژوهش حاضر به صورت یک آزمایش فاکتوریل دو عاملی در قالب طرح کاملاً تصادفی با ۳ تکرار اجرا شد. تجزیه و تحلیل واریانس (ANOVA) برای بررسی تاثیر سطوح مختلف نسبت شیر و آب پنیر (۴ سطح) با دما (۶ سطح) و اثر متقابل

3. Cluster analysis  
4. Agglomerative Hierarchical Clustering  
5. Unweighted Pair Group Method with Arithmetic mean

2. Browning Index

پودر می‌شود که با نتایج پژوهش‌های دیگر مطابقت داشت [۱۶ و ۱۸ و ۱۹]. همچنین دانسیته توده‌ای به ترکیبات پودر بستگی دارد، افزایش چربی و درصد شیر (فرمولاسیون پنیر تولیدی) منجر به افزایش دانسیته پودر می‌شود [۱۴]. نتایج آنالیز واریانس داده‌های مربوط به تاثیر فرمولاسیون بر دانسیته پودر نشان می‌دهد که پنیر تولیدی با شیر کامل بیشترین میانگین دانسیته را نسبت به فرمولاسیون‌های دیگر دارد (جدول ۱).

با توجه به نتایج آنالیز واریانس داده‌های مربوط به تاثیر دما بر دانسیته پودر، به طور کلی بیشترین میانگین دانسیته مربوط به دماهای پایین می‌باشد (جدول ۱). چگالی توده‌ای، یک سیستم گرانولی حاصل از ترتیب ذرات است که به توزیع اندازه و نیروهای بین ذرات وابسته است [۱۷]. با توجه به دلایل اقتصادی و کاربردی زیاد، دانسیته توده‌ای یکی از مهمترین خاصیت‌های پودرها می‌باشد. نتایج نشان دادند، افزایش دمای هوای ورودی باعث کاهش دانسیته توده‌ای

**Table 1** Effect of Formulation and Foam mat Drying Temperature on Density and Hygroscopic of Ricotta Cheese Powder

Formulation	Temperature	Density	Hygroscopic
1	50	0.6802±0.022 <sup>abcdef</sup>	0.078±0.0029 <sup>gh</sup>
	55	0.664±0.035 <sup>cdefg</sup>	0.083±0.005 <sup>fgh</sup>
	60	0.707±0.053 <sup>abc</sup>	0.077±0.0028 <sup>gh</sup>
	65	0.678±0.01 <sup>bcd</sup>	0.09±0.0022 <sup>efg</sup>
	70	0.607±0.059 <sup>hi</sup>	0.085±0.0033 <sup>fgh</sup>
	75	0.696±0.016 <sup>abcd</sup>	0.088±0.0025 <sup>efgh</sup>
2	50	0.596±0.025 <sup>i</sup>	0.08±0.0095 <sup>fgh</sup>
	55	0.5967±0.012 <sup>i</sup>	0.086±0.0085 <sup>efgh</sup>
	60	0.643±0.019 <sup>efghi</sup>	0.073±0.005 <sup>h</sup>
	65	0.63±0.023 <sup>fghi</sup>	0.0732±0.005 <sup>h</sup>
	70	0.66±0.022 <sup>cdefg</sup>	0.088±0.0094 <sup>efgh</sup>
	75	0.731±0.014 <sup>a</sup>	0.0885±0.0032 <sup>efgh</sup>
3	50	0.703±0.025 <sup>abcd</sup>	0.091±0.0037 <sup>efg</sup>
	55	0.662±0.024 <sup>cdefg</sup>	0.083±0.0033 <sup>fgh</sup>
	60	0.619±0.017 <sup>ghi</sup>	0.096±0.0133 <sup>def</sup>
	65	0.634±0.01 <sup>fghi</sup>	0.0835±0.017 <sup>fgh</sup>
	70	0.652±0.028 <sup>cdefgh</sup>	0.102±0.009 <sup>cde</sup>
	75	0.687±0.031 <sup>abcde</sup>	0.108±0.0054 <sup>cd</sup>
4	50	0.707±0.034 <sup>abc</sup>	0.13±0.004 <sup>b</sup>
	55	0.7±0.013 <sup>abcd</sup>	0.138±0.0064 <sup>ab</sup>
	60	0.678±0.01 <sup>bcd</sup>	0.133±0.013 <sup>b</sup>
	65	0.624±0.015 <sup>ghi</sup>	0.115±0.011 <sup>c</sup>
	70	0.721±0.012 <sup>ab</sup>	0.1332±0.0057 <sup>b</sup>
	75	0.71±0.027 <sup>abc</sup>	0.149±0.014 <sup>a</sup>

Different lower case superscripts in the column indicate significant difference (P<0.05)

بیشتری برای جذب رطوبت محیط دارند که مربوط به شیب زیاد غلظت آب بین محصول و هوای اطراف آن است. این نتایج با پژوهش‌های دیگر منطبق بود [۲۱-۱۸]. کاهش دمای هوای خشک‌کن باعث کاهش هیگروسکوپی پودرها می‌شود که با کاهش محتوای رطوبتی پودر ارتباط مستقیم دارد [۱۸-۱۳]. با توجه به نتایج آنالیز واریانس داده‌های مربوط به تاثیر دما بر هیگروسکوپی، بیشترین میانگین هیگروسکوپی نمونه‌ها مربوط به دمای ۷۵°C می‌باشد. طی پژوهشی با بررسی ویژگی‌های فیزیکی پودر آب چغندر تولید شده به روش خشک کردن پاششی، تاثیر غلظت کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (wpc) را بر

### ۳-۲- تاثیر فرمولاسیون و دما بر هیگروسکوپی

هیگروسکوپی، ظرفیت پودر برای جذب رطوبت محیط است. در رابطه با پایداری پودرها، هیگروسکوپی (جاذب الرطوبه) نشان دهنده ظرفیت غذا برای جذب رطوبت است که تحت تاثیر ترکیبات اصلی محصول و غلظت حامل‌ها می‌باشد [۱۹].

با توجه به آنالیز واریانس، اثر فرمولاسیون، دما و اثر متقابل آنها بر هیگروسکوپی پودرها معنی‌دار می‌باشند (p<۰/۰۵) (جدول ۲). پودرهایی که در دمای بالاتر تولید می‌شوند نسبت به دمای پایین هیگروسکوپی بیشتری دارند یعنی ظرفیت

نتایج آنالیز واریانس داده‌های مربوط به تاثیر فرمولاسیون بر هیگروسکوپی، بیشترین میانگین هیگروسکوپی را برای فرمولاسیون نوع ۴ یعنی شیر کامل را نشان داد (جدول ۱).

**Table 2** Results of analysis of variance of temperature and formulation on Hygroscoy and density of ricotta cheese powder ( $P < 0.05$ )

Source	Density				Hygroscoy			
	df	Sum of squares	Mean square	Pr > F	df	Sum of squares	Mean square	Pr > F
Formulation	3	0.028	0.0095	<.0001**	3	0.041	0.0138	<.0001**
Temperature	5	0.037	0.0075	<.0001**	5	0.003	0.0006	<.0001**
Formulation Temperature	15	0.081	0.0054	<.0001**	15	0.002	0.0001	0.0187*
Error	72	0.068	0.0009		72	0.006	0.00009	
Total	95	0.216			95	0.054		

### ۳-۳- تاثیر فرمولاسیون و دما بر رنگ

با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس، فرمولاسیون و دماهای مختلف، تاثیر معناداری بر میزان قهوه‌ای شدن (BI) پودر پنیر ریکوتا نداشتند. به نظر می‌رسد که در دماهای بالا ( $70^{\circ}\text{C}$  -  $75^{\circ}\text{C}$ ) به دلیل بالا بودن سرعت خشک شدن کف، زمان لازم برای انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن و در نتیجه تیره شدن رنگ نمونه‌ها نسبت به دماهای پایین ( $50^{\circ}\text{C}$  -  $55^{\circ}\text{C}$ ) کمتر است [۱۵].

طبق نتایج آنالیز واریانس مربوط به تاثیر فرمولاسیون بر روشنایی، پودرهای تهیه شده با درصد بالاتری از آب‌پنیر روشنایی (L) بیشتری نسبت به پودر پنیر تهیه شده با درصد بالاتر شیر دارند (جدول ۳). ذرات آب‌پنیر سایز کوچکتری نسبت به ذرات شیر دارند این ذرات کوچکتر به پراکندگی بیشتر نور کمک کرده و در نتیجه باعث روشنایی بیشتر (L) می‌شوند. همچنین پودر پنیر تهیه شده با درصد بالاتر آب‌پنیر دارای کمترین شاخص a و b می‌باشد، که با نتایج پژوهش‌های دیگر مطابقت دارد [۲۶-۲۳].

زردی رنگ (b)، تحت تاثیر محتوای چربی و سایز گلبولهای چربی پراکنده در نمونه یا درماتریکس پروتئین است. گلبولهای چربی با سایز کوچکتر تاثیر بیشتری روی روشنایی و تولید محصول سفیدتر دارند. از آنجا که شاخص b پودر پنیری که در فرمولاسیونش حاوی شیر بیشتری است دارای چربی بیشتری بوده در نتیجه شاخص b بزرگتری دارد [۱۴].

یکی از مهمترین معیارهای پذیرش یک ماده غذایی، رنگ می‌باشد. تغییرات نامطلوب در رنگ مواد غذایی ممکن است به کاهش کیفیت و ارزش بازاریابی آن منجر شود. دما و زمان خشک کردن از مهمترین پارامترهای موثر بر تغییرات رنگ مواد غذایی محسوب می‌شوند [۲۲]. طبق نتایج آنالیز رنگ، اثر فرمولاسیون و دما بر شاخص‌های L، a و b معنی‌دار نبودند. اثر متقابل فرمولاسیون و دما بر شاخص a در سطح ۹۵٪ معنی‌دار شد (جدول ۴). طبق مطالعات مختلف، افزایش دمای خشک کردن کف‌پوشی نشان داد که شاخص‌های a و b کاهش و شاخص L افزایش یافت که به علت کاهش زمان خشک کردن و خشک شدن سریع‌تر نمونه می‌باشد [۲۳ و ۲۴]. پارامتر a در اندازه‌گیری رنگ، حساس‌ترین پارامتر است که بهترین تغییرات در پودر حاصل را پس از خشک شدن نشان می‌دهد. این شاخص در دماهای بالا کاهش پیدا می‌کند [۱۸-۲۲].

تغییرات رنگ در محصولات نهایی ممکن است مربوط به قهوه‌ای شدن غیرآنزیمی باشد. شکل‌گیری رنگدانه قهوه‌ای در طی فرآیند خشک شدن، نتیجه واکنش میلارد می‌باشد [۲۲]. عواملی چون حرارت (در طول فرآوری)، رطوبت زیاد و نگهداری در دمای بالا به طور کلی به عنوان تقویت‌کننده واکنش قهوه‌ای شدن شناخته شده است [۲۵].

**Table 3** Effect of Formulation and Foam mat Drying Temperature on Color Factorsof Ricotta Cheese Powder

Formulation	Temperature	L	a	b	BI
1	50	99.97±0.07 <sup>a</sup>	-0.038±0.06 <sup>b</sup>	0.092±0.185 <sup>a</sup>	182.44±0.17 <sup>a</sup>
	55	99.992±0.07 <sup>a</sup>	0.012±0.0008 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3609±0.00041 <sup>b</sup>
	60	99.9975±0.0005 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3609±0.0004 <sup>b</sup>
	65	99.993±0.0008 <sup>a</sup>	0.011 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.0055±0.0008 <sup>b</sup>	182.361±0.0005 <sup>b</sup>
	70	99.991±0.001 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.0015±0.007 <sup>b</sup>	182.3653±0.007 <sup>b</sup>
	75	99.996±0.0005 <sup>a</sup>	0.011±0.00 <sup>a</sup>	-0.0052±0.00 <sup>b</sup>	182.3616±0.0008 <sup>b</sup>
2	50	99.9977±0.0004 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3655±0.0079 <sup>b</sup>
	55	99.9977±0.0004 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3617±0.00 <sup>b</sup>
	60	99.9972±0.0004 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3609±0.0004 <sup>b</sup>
	65	99.9972±0.0004 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3609±0.0004 <sup>b</sup>
	70	99.997±0.0007 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3611±0.0002 <sup>b</sup>
	75	99.998±0.00 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.361±0.00 <sup>b</sup>
3	50	99.998±0.00 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.361±0.00 <sup>b</sup>
	55	99.998±0.00 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.361±0.00 <sup>b</sup>
	60	99.998±0.00 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.361±0.00 <sup>b</sup>
	65	99.998±0.00 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.361±0.00 <sup>b</sup>
	70	99.998±0.00 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.361±0.00 <sup>b</sup>
	75	99.998±0.00 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.361±0.00 <sup>b</sup>
4	50	99.998±0.00 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3609±0.0004 <sup>b</sup>
	55	99.826±0.29 <sup>b</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3609±0.00043 <sup>b</sup>
	60	99.999±0.00 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.361±0.00 <sup>b</sup>
	65	99.998±0.0004 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3609±0.00043 <sup>b</sup>
	70	99.998±0.00 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3609±0.00 <sup>b</sup>
	75	99.998±0.0004 <sup>a</sup>	0.012 ±0.00 <sup>a</sup>	-0.006±0.001 <sup>b</sup>	182.3609±0.0004 <sup>b</sup>

Different lower case superscripts in the column indicate significant difference (P<0.05)

**Table 4** Analysis of variance of temperature and formulation effects on color parameters of ricotta cheese powder (p<0.05)

Source	L			a			b			BI						
	df	Sum of squares	Mean square	Pr>F	df	Sum of squares	Mean square	Pr>F	df	Sum of squares	Mean square	Pr>F				
Formulation	3	0.012	0.0041	≈0.48	3	0.0012	0.00042	0.13 <sup>ns</sup>	3	0.0051	0.0017	0.44 <sup>ns</sup>	3	0.003	0.0012	0.55 <sup>ns</sup>
Temperature	5	0.024	0.0048	≈0.44	5	0.002	0.00041	≈0.11	5	0.0085	0.0017	0.49 <sup>ns</sup>	5	0.006	0.0012	0.62 <sup>ns</sup>
Formulation Temperature	15	0.076	0.005	≈0.45	15	0.0062	0.00041	0.04 <sup>*</sup>	15	0.022	0.0015	0.68 <sup>ns</sup>	15	0.001	0.001	0.86 <sup>ns</sup>
Error	72	0.36	0.005		72	0.016	0.0002		72	0.138	0.0019		72	0.12	0.0017	
Total	95	0.47			95	0.025			95	0.175			95	0.15		

گروه‌بندی استفاده می‌کند. برای تعیین تعداد خوشه‌ها برای هر آنالیز، پلات عدم تشابه رسم شد. از این دندروگرام (شکل ۲) برای تعیین ساختار خوشه‌ای داده‌ها استفاده شد که با استفاده از پلات عدم تشابه (XLSTAT 2016) طراحی شد. ایندندروگرام چگونگی کار الگوریتم را برای خوشه‌بندی داده‌ها، و سپس گروه‌های کوچک درون خوشه‌های اصلی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، الگوریتم با موفقیت همه داده‌ها را خوشه‌بندی کرده است. نقطه چین نشان دهنده

### ۳-۴- آنالیز خوشه‌ای

خوشه‌بندی‌ها بر اساس خصوصیات پودرها انجام شد. شکل ۱ ساختار داده‌ها را نشان می‌دهد. هنگامیکه افزایش سطح عدم تشابه قوی است، به سطحی رسیدیم که داده‌هایی که همگن بودند به صورت گروه‌هایی دسته‌بندی شدند. و به صورت خودکار از این معیار برای تصمیم‌گیری در مورد توقف

6. Dissimilarity level

انجام واکنش‌های قهوه‌ای شدن و در نتیجه تیره شدن رنگ نمونه‌ها نسبت به دماهای پایین کمتر می‌باشد. همچنین افزایش درصد پودر آب‌پنیر به فرمولاسیون تهیه پنیر باعث افزایش روشنائی (L) پودر می‌شود. ذرات آب‌پنیرساز کوچک‌ترین سبب به ذرات شیر دارند این ذرات کوچک‌تر به پراکندگی بیشتر نور کمک کرده و در نتیجه باعث روشنائی (L) بیشتر می‌شوند که با نتایج پژوهش‌های دیگر مطابقت دارد [۱۵]. تغییرات در فاکتورهای chroma و BI عمدتاً به مقدار b وابسته است [۱۲].

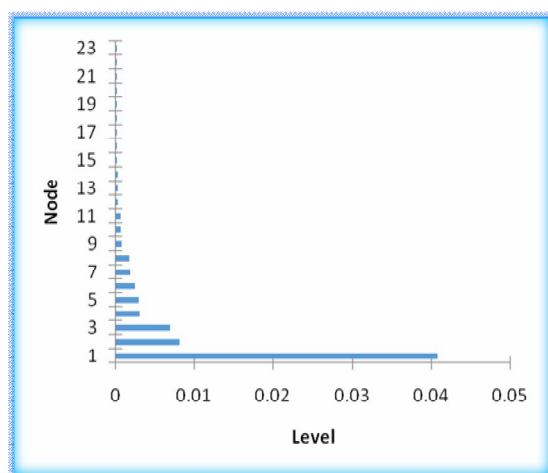


Fig 1 Histogram of node levels

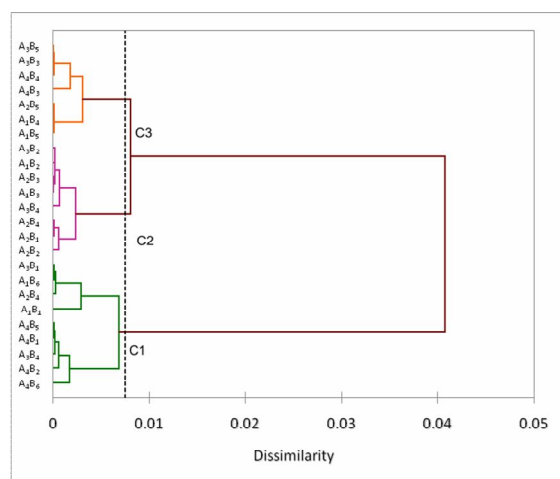


Fig 2 Dendrogram of hierarchical cluster analysis (Ward's method) of Physical Characteristics of Ricotta Powder: cluster (C), Formulation (A), Temperature (B)

توقف خودکار خوشه‌بندی می‌باشد. برای به دست آوردن خوشه‌بندی خوب از تیمارهای فرمولاسیون و دما، از AHC با سه خوشه استفاده شد. نمونه‌ها براساس شباهت‌هایشان در یک خوشه قرار گرفتند. از میان سه خوشه گزارش شده خوشه ۲ به عنوان خوشه ایده‌آل انتخاب شد. جدول ۵ واریانس درون خوشه، حداقل و حداکثر و میانگین فاصله تا مرکزیت را نشان می‌دهد. نتایج تجزیه واریانس خوشه‌بندی‌های ایجاد شده، ۳۴/۰۱٪ تغییرات درون خوشه و ۶۵/۹۹٪ تغییرات بین خوشه‌ها را نشان می‌دهد (جدول ۶). با توجه به جدول ۷ که فاصله خوشه‌ها از هم را نشان می‌دهد، فاصله خوشه ۱ و ۲، ۰/۱۰۴ و خوشه ۱ و ۳، ۰/۰۶۵ و فاصله خوشه ۲ و ۳، ۰/۰۴۶ می‌باشد. اجزای مرکزی خوشه ۱ فرمولاسیون ۲ (۶۶٪ آب‌پنیر / ۳۳٪ شیرخشک) دمای ۵۵°C، خوشه ۲ فرمولاسیون ۳ (۳۳٪ آب‌پنیر / ۶۶٪ شیرخشک) دمای ۶۰°C، خوشه ۳ فرمولاسیون ۱ (۱۰۰٪ آب‌پنیر) دمای ۶۵°C می‌باشد (جدول ۸). با توجه به نتایج، کمترین عدم تشابه بین تیمارها و همچنین به دلیل کمترین میزان واریانس درون گروهی، خوشه ۲ مناسب‌ترین خوشه می‌باشد. دانسیته توده‌ای عمدتاً مربوط به ترکیب پودر است. افزایش رطوبت و کاهش چربی سبب کاهش دانسیته توده‌ای پودر می‌شود. دانسیته پودر پنیرهای تهیه شده با درصد شیر بیشتر از آب‌پنیر، بالاتر می‌باشد [۱۶-۱۴]. نتایج نشان می‌دهند، افزایش دمای هوای ورودی باعث کاهش دانسیته توده‌ای می‌شود [۱۹]. در دمای بسیار بالا به دلیل سرعت بخار بیشتر، محصولات با تخلخل زیاد، کاهش حجم جامد، تراکم ذرات تولید شده و همچنین باعث کاهش چروک خوردگی ذرات می‌شود، بنابراین دانسیته کاهش می‌یابد [۲۷-۱۸]. هیگروسکوپی معرف ظرفیت جذب رطوبت پودر از محیط می‌باشد. افزایش دمای هوای ورودی باعث ایجاد سریع لایه خشک در سطح ذره می‌شود. همچنین می‌تواند باعث تغییر اندازه ذرات در کنار سوختگی سطحی<sup>v</sup> در ذرات در دماهای بالاتر شود. این فرآیند منجر به تشکیل فیلم‌های نفوذ ناپذیر نسبت به بخار در سطح ذره و تشکیل حباب‌های بخار و گسترش ذرات می‌شود [۲۸]. کاهش دمای هوای خشک کردن باعث کاهش هیگروسکوپی پودرها می‌شود [۱۸]. در دماهای بالا به دلیل بالا بودن سرعت خشک شدن کف، زمان لازم برای

## 7. Casehardening

**Table 5** Results by class

Class	1	2	3
Objects	9	8	7
Sum of weights	9	8	7
Within-class variance	0.002	0.001	0.001
Minimum distance to centroid	0.011	0.008	0.015
Average distance to centroid	0.033	0.021	0.026
Maximum distance to centroid	0.067	0.035	0.043
	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>4</sub>
	A <sub>1</sub> B <sub>6</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub>	A <sub>1</sub> B <sub>5</sub>
	A <sub>2</sub> B <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>5</sub>
	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub>
	A <sub>3</sub> B <sub>4</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>5</sub>
	A <sub>4</sub> B <sub>1</sub>	A <sub>2</sub> B <sub>4</sub>	A <sub>4</sub> B <sub>3</sub>
	A <sub>4</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub>	A <sub>4</sub> B <sub>4</sub>
	A <sub>4</sub> B <sub>5</sub>	A <sub>3</sub> B <sub>4</sub>	
	A <sub>4</sub> B <sub>6</sub>		

**Table 6** Variance decomposition for the optimal classification

	Absolute	Percent
Within-class	0.001	34.01%
Between-classes	0.002	65.99%
Total	0.003	100.00%

**Table 7** Distances between the class centroids

	1	2	3
1	0	0.104	0.065
2	0.104	0	0.046
3	0.065	0.046	0

**Table 8** Central objects

Class	Powder density	Hygroscopy	Color
1 (A <sub>3</sub> B <sub>4</sub> )	0.736	0.116	182.361
2 (A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> )	0.632	0.088	182.361
3 (A <sub>2</sub> B <sub>5</sub> )	0.673	0.101	182.362

#### ۴- نتیجه گیری

به طور کلی با توجه به نتایج به دست آمده، فرمولاسیون و دما بر دانسیته و هیگروسکوپیتاتیرگذار بوده و همچنین اثر متقابل فرمولاسیون و دما در سطح ۹۵٪ بر شاخص a موثر می باشد. در دمای بسیار بالا به دلیل سرعت بخار بیشتر، محصولات با تخلخل و ساختار ریزتر تولید شده و باعث کاهش چروک خوردگی ذرات می شوند و بنابراین دانسیته کمتر و هیگروسکوپیت بیشتر می شود. همچنین با افزایش دمای خشک

کردن شاخص افزایش و شاخص a و b کاهش یافت. افزایش درصد شیر به فرمولاسیون پنیر تولیدی منجر به افزایش دانسیته پودر پنیر و کاهش روشنایی آن می شود. کم بودن محتوای رطوبتی پودر پنیر موجب افزایش جذب رطوبت (هیگروسکوپیت) می شود. با توجه به نتایج آنالیز خوشه ای، خوشه ۲ به دلیل کمترین میزان واریانس درون گروهی مناسب ترین خوشه می باشد. با توجه به جدول خوشه بندی، در خوشه ۲، فرمولاسیون ۲ و دماهای پایین بیشتر است، در این خوشه پودر پنیر با درصد بالای آب پنیر به چشم می خورد که با توجه به



- Journal of Food Measurement and Characterization, 11(4), 1892-1898.
- [10] Pasban, A., Mohebbi, M., Pourazarang, H., &Varidi, M. (2014). Effects of endemic hydrocolloids and xanthan gum on foaming properties of white button mushroom puree studied by cluster analysis: A comparative study. Journal of Taibah University for Science, 8(1), 31-3.
- [11] Najafi, M. H., &Moatamedzadegan, A. (2001). Process Optimization of Ricotta Cheese According to Iranian Preferences. J. Agric. Sci, 3, 237-240.
- [12] Erbay, Z., &Koca, N. (2015). Effects of whey or maltodextrin addition during production on physical quality of white cheese powder during storage. Journal of dairy science, 98(12), 8391-8404.
- [13] Santhalakshmy, S., Bosco, S. J. D., Francis, S., &Sabeena, M. (2015). Effect of inlet temperature on physicochemical properties of spray-dried jamun fruit juice powder. Powder Technology, 274, 37-43.
- [14] Koca, N., Erbay, Z., &Kaymak-Ertekin, F. (2015). Effects of spray-drying conditions on the chemical, physical, and sensory properties of cheese powder. Journal of dairy science, 98(5), 2934-2943.
- [15] Rahmani, S. (2018). Evaluation the effect of milk /whey ratio and drying temperature on physicochemical and sensory characteristics of dried ricotta cheese by using foam mat drying. Master thesis. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources.Sari. Iran. 76.
- [16] Kelly, J., Kelly, P. M., & Harrington, D. (2002). Influence of processing variables on the physicochemical properties of spray dried fat-based milk powders. Le Lait, 82(4), 401-412.
- [17] Rannou, C., Queveau, D., Beaumal, V., David-Briand, E., Le Borgne, C., Meynier, A., Anton, M., Prost, C., Schuck, P., Loisel, C. (2015). Effect of spray-drying and storage conditions on the physical and functional properties of standard and n-3 enriched egg yolk powders. Journal of Food Engineering.
- [18] Bazaria, B., & Kumar, P. (2016). Effect of whey protein concentrate as drying aid and drying parameters on physicochemical and functional properties of spray dried beetroot juice concentrate. Food Bioscience, 14, 21-27.
- [19] Goula, A.M., Adamopoulos, K.G., &Kazakis, N.A. (2004).Influence of spray
- توضیحات قبل روشنایی پودرهای این خوشه بالاتر بوده همچنین در دمای پایین تر میزان دانسیته و هیگروسکوپیک پایین تری داریم.

## ۵- منابع

- [1] Salvatore, E., Pes, M., Falchi, G., Pagnozzi, D., Furesi, S., Fiori, M., &Pirisi, A. (2014). Effect of whey concentration on protein recovery in fresh ovine ricotta cheese. Journal of dairy science, 97(8), 4686-4694.
- [2] Fernandes, M.d.S., Fujimoto, G., Schneid, I., Kabuki, D.Y., Kuaye, A.Y. (2014).Enterotoxigenic Profile, Antimicrobial Susceptibility And Biofilm Formation Of Bacillus Cereus Isolated From Ricotta Processing, International Dairy Journal.
- [3] Hardy, Z., &Jideani, V. A. (2017). Foam-mat drying technology: a review. Critical reviews in food science and nutrition, 57(12), 2560-2572.
- [4] Lobo, F. A., Nascimento, M. A., Domingues, J. R., Falcão, D. Q., Hernanz, D., Heredia, F. J., & de Lima Araujo, K. G. (2017). Foam mat drying of Tommy Atkins mango: Effects of air temperature and concentrations of soy lecithin and carboxymethylcellulose on phenolic composition, mangiferin, and antioxidant capacity. Food chemistry, 221, 258-266.
- [5] Balasubramanian, S., Paridhi, G., Bosco, J. D., Kadam, D. M. (2012). Optimization of Process Conditions for the Development of Tomato Foam by Box-Behnken Design. Food and Nutrition Sciences, 3: 925 -930.
- [6] Barbosa-Cánovas, G. V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Yan, H. (2005). Mixing. Food powders: Physical properties, processing, and functionality, 221-246.
- [7] Sarstedt, M., & Mooi, E. (2019). Cluster analysis. In A concise guide to market research (pp. 301-354). Springer, Berlin, Heidelberg.
- [8] Martínez, K. D., Fariás, M. E., &Pilosof, A. M. (2011). Effects of soy protein hydrolysis and polysaccharides addition on foaming properties studied by cluster analysis. Food Hydrocolloids, 25(7), 1667-1676.
- [9] Azizpour, M., Mohebbi, M., Yolmeh, M., Abbasi, E., &Sangatash, M. M. (2017). Effects of different hydrocolloids on foaming properties of shrimp puree: a cluster analysis.

- [24] Niamnuy, C., Devahastin, S., & Soponronnarit, S. (2007b). Effects of process parameters on quality changes of shrimp during drying in a jet-spouted bed dryer. *Journal of Food Science*, 72, E553–E563.
- [25] CHOI, R. P., KONCUS, A. F., O'MALLEY, C. M. and FAIRBANK, B. W. 1949. A proposed method for the determination of color of dried products of milk. *J. Dairy Sci.* 32, 580.
- [26] Da Silva, D. F., Ahrne, L., Larsen, F. H., Hougaard, A. B., & Ipsen, R. (2018). Physical and functional properties of cheese powders affected by sweet whey powder addition before or after spray drying. *Powder Technology*, 323, 139-148.
- [27] Suzihaque, M. U. H., Hashib, S. A., & Ibrahim, U. K. (2015). Effect of Inlet Temperature on Pineapple Powder and Banana Milk Powder. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 195, 2829-2838.
- [28] Chegini, G. R., & Ghobadian, B. (2005). Effect of spray-drying conditions on physical properties of orange juice powder. *Drying Technology*, 23(3), 657-668.
- drying conditions on tomato powder properties. *Drying Technology*, 22, 1129–1151.
- [20] Phisut, N., (2012) Spray drying technique of fruit juice powder: some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, 19(4): p. 1297-1306.
- [21] Tonon, R. V., Brabet, C., & Hubinger, M. D. (2008). Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleracea* Mart.) powder produced by spray drying. *Journal of Food Engineering*, 88(3), 411-418.
- [22] Qing-Guo, H., Min, Z., Mujumdar, A. S., Wei-hua, D., & Jin-cai, S. (2006). Effects of different drying methods on the quality changes of granular edamame. *Drying Technology*, 24(8), 1025-1032.
- [23] Azizpour, M., Mohebbi, M., & Khodaparast, M. H. H. (2016). Effects of foam-mat drying temperature on physicochemical and microstructural properties of shrimp powder. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 34, 122-126.

## Effect of Formulation and Different Drying Temperatures on Physical Properties of Ricotta Powder with Cluster Analysis Model

Bagheri, Z.<sup>1\*</sup>, Motamedzadegan, A.<sup>2</sup>, Khanbabaie, R.<sup>3</sup>, Farhadi<sup>A.4</sup>

1. Master student, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
3. Assistant Professor, Department of Physics, Noshirovani Industrial University of Babol, Babol, Iran
4. Assistant Professor, Department of Food Science and Technology, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

(Received: 2019/06/19 Accepted: 2019/09/07)

Cluster analysis (CA) is a multivariate tool used to organize a set of multivariate data (observations, objects) into groups called clusters. The cluster analysis method was carried out on characteristics of Ricotta cheese powder, with the effect of milk/whay ratio (formulation) and foam mat drying temperature. In this study, 4 types of formulations and 6 drying temperature were used to study the density, hygroscopic and color factors to find the formulation and optimal temperature that created the proper physical properties. The results of analysis of variance showed high temperature due to higher vapor velocity, decreased density and increased hygroscopicity ( $p < 0.05$ ). Also, with increasing temperature, the index "L" decreased and the indices "a" and "b" decreased. According to the results of cluster analysis, cluster 2 was selected as the best cluster for the least disparity between treatments and also due to the lowest Within-group variance. In this cluster, cheeses with a high percentage of whey in the formulation combination and low temperatures are found to foam mat drying. According to the results, the Lightness (L) of the powders of this cluster is higher, and at lower temperatures the density and hygroscopy are lower. Based on the results in general, the use of cluster analysis to select formulations for foam mat drying of ricotta cheese is a suitable method.

**Keywords:** Cluster Analysis , Modeling , Ricotta , Foam Mat Drying

---

\* Corresponding Author's E-Mail: z.bagheri808@gmail.com