نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴، ص. ۸۷-۷۷

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 11, No. 1, Spring 2015, p. 77-87

بهینه سازی شرایط تولید کف پایدار چغندرقرمز (*Beta vulgaris L*) با استفاده از روش سطح پاسخ

آرزو عباسی[۱]- محبت محبی[۲*]- الهام مهدیان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۷/۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۲۱

چکیده

شرایط ایجاد کف از پوره چغندر قرمز با استفاده از روش سطح پاسخ (RSM) در غلظت صمغ عربی (۰/۱ تا۰/۴ درصد وزنی/وزنی)،پوره چغندر قرمز (۴۰ تا۶۰ درصد وزنی/وزنی)،سفیده تخم مرغ (۵ تا ۱۵ درصد وزنی/ وزنی) و زمان هم زدن(۳ تا ۹ دقیقه) برای حداقل تراکم کف و حجم زهکشی (به عنوان متغیر های پاسخ) بهینه سازی شد.نمونه های کف از غلظت های مختلف پوره و با افزودن غلظت های مختلف سفیده تخم مرغ (به عنوان عامل کفزا) و صمغ عربی (به عنوان عامل پایدار کننده) در زمان‌های مختلف همزدن آماده شدند. شرایط بهینه پس از بهینه سازی های عددی و گرافیکی برای حداکثر پایداری و حداقل چگالی کف در ۰/۲۹ درصد وزنی / وزنی صمغ عربی،۱۵ درصد وزنی/وزنی سفیده تخم مرغ،۶۰ درصد وزنی / وزنی پوره چغندر قرمز و ۹ دقیقه زمان هم زدن بدست آمد.نتیجه نشان داد پایداری کف با افزایش غلظت صمغ عربی افزایش پیدا کرد($p<۰/۰۰۱$) و چگالی کف با افزایش غلظت سفیده تخم مرغ،میزان پوره و زمان هم زدن کاهش یافت($p<۰/۰۰۰۱$).

کلمات کلیدی: کف، پوره چغندر قرمز، سفیده تخم مرغ، صمغ عربی، پایداری و تراکم، روش سطح پاسخ

مقدمه

خشک کردن کف پوشی[۴] از روش‌های خشک کردن مواد غذایی مایع، کنسانتره و پوره مانند می‌باشد که در سالهای اخیر مورد توجه محققان قرار گرفته است. این روش اولین بار به عنوان روشی جهت خشک کردن مواد غذایی مایع یا شبه مایع به صورت یک لایه نازک کف توسط جریان هوای داغ، با قابلیت تولید محصول نهایی دارای ویژگی‌های کیفی مطلوب ولی ارزان قیمت تر از روش‌های خشک کردن تحت خلأ[۵]، پاششی[۶] و انجمادی[۷] معرفی گردید. در ابتدای این روش، ماده غذایی مایع یا شبه مایع با افزودن ترکیبات کف زا و پایدارکننده کف و سپس فرآیند ایجاد کف، به صورت کف نسبتاً پایداری متناسب با زمان فرآیند خشک کردن درآمده، سپس خشک می‌شود. به دلیل ساختار متخلخل کف، سرعت انتقال جرم و حرارت طی فرایند خشک کردن افزایش پیدا کرده، امکان خشک کردن ماده غذایی در دمای پایین‌تر و مدت زمان کمتر در خشک کردن کف پوشی ایجاد شده است. افزون براین، ساختار متخلخل نمونه کف خشک شده، سبب جذب سریع‌تر آب و افزایش سرعت انحلال ماده غذایی خشک شده می‌گردد (Kadam *et al.*, 2010؛Lewicki، ۲۰۰۶).

رنگ یک شاخص کیفیت بسیار مهم در پذیرش مصرف کننده از مواد غذایی میباشد. در سالهای اخیر به دلیل افزایش مصرف رنگ‌های طبیعی، مصرف رنگهای مصنوعی کاهش یافته است (Fletcher, 2006).

چغندر قرمز به عنوان یک منبع غنی رنگ طبیعی در مواد غذایی است و به دلیل ارزش تغذیه‌ای بالای آن و عدم وجود شرایط مناسب برای نگهداری در تمام فصول سال، خشک کردن آن با هدف تهیه پودر چغندر قرمز و کاربرد پودر آن به عنوان رنگ دهنده طبیعی مواد غذایی و افزودنی مغذی و رژیمی در فرمولاسیون محصولات غذائی نظیر انواع سوپ، سس، شیرینی، مربا، ژله، نوشیدنی‌های طبیعی و لبنی، انواع دسرها، بستنی و محصولات مشابه جالب توجه است.

بتالایین ها[۸] رنگدانه های محلول در آب و حاوی نیتروژن

۱و ۳- به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، استادیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قوچان، ایران.
۲- دانشیار گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*نویسنده مسئول: Email: mohebbatm@gmail.com)

4- Foam mat drying
5- Foam drying under vacuum
6- Spray drying padding
7- Freeze drying

8- betalains

میباشند که در غلظت بالا در چغندر قرمز وجود دارند و به عنوان یک رنگ خوراکی و افزودنی مواد غذایی به دلیل افزودن خواص سلامتی بخش از آن استفاده می‌شود (Kavitha *et al*., 2013). بتالایین ها دارای دو گروه هستند; بتاسیانین ها که مسئول رنگ قرمز میباشند و بتا زانتین ها که مسئول رنگ زرد می‌باشند (Delgado-Vargas *et al*., 2000; Carle & Stintzing 2004). رنگ قرمز لبو نیز به دلیل وجود بتاسیانین می‌باشد (Carle & Stintzing 2005).

چغندر قرمز با داشتن بتالائین ها می‌توانند در پیشگیری از بیماری‌های قلبی- عروقی موثر باشند. همچنین، مقادیر بالای فیبر در چغندر قرمز، چربی خون را کاهش می دهد. مطالعات نشان می دهد که مصرف مرتب چغندر قرمز ۳۰ درصد کلسترول بد و ۴۰ درصد تری‌گلیسرید خون را کاهش می‌دهد و به میزان قابل توجهی افزایش دهنده کلسترول خوب می باشد و به این ترتیب از ابتلا به بیماری‌های قلبی جلوگیری می‌کند. چغندر قرمز منبع بسیار خوب فولات می باشد. میزان ترکیبات اصلی چغندر قرمز در ۱۰۰ گرم به طور متوسط در جدول ۱ نشان داده شده است (Reddy *et al*., 2005).

جدول۱- مواد تشکیل دهنده چغندر قرمز

ترکیبات غذایی در ۱۰۰ گرم میگو	
رطوبت	۸۷ گرم
پروتئین	۱/۶گرم
چربی	۰/۱ گرم
خاکستر	۱/۱گرم
قند	۹/۹ گرم
انرژی	۹۹ کالری

تاکنون مطالعات مختلفی بر روی خشک کردن کف پوشی صورت گرفته است. از ان جمله می توان به خشک کردن کف پوشی پالپ میوه استار (*Averrhoa carambola L.*) (Wai & Karim 1999) که در این بررسی تاثیر غلظت های مختلف متوسل (۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ و ۰/۵ درصد وزنی/ وزنی) بر میزان قابلیت کف زایی و پایداری کف و تاثیر دماهای ۷۰ و ۹۰ درجه سانتی گراد بر سرعت خشک شدن و ویژگی های کیفی محصول نهایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد افزایش غلظت متوسل تا سطح ۰/۴ درصد (وزنی / وزنی) سبب افزایش قابلیت کف زایی و پایداری کف شد. هم چنین افزایش دمای خشک کردن از ۷۰ به ۹۰ درجه سانتی گراد سبب کاهش ۳۰ دقیقه ای در زمان خشک کردن گردید، خشک کردن کف پوشی انبه (Rajkumar *et al*., 2007) که نتایج نشان داد که کف پالپ انبه تولید شده با استفاده از آلبومین تخم مرغ (۱۰٪) به عنوان عامل کف زا و متیل سلولز (۰/۵٪) به عنوان تثبیت کننده کف در C°60 با mm1 ضخامت بهترین نتیجه را داشت. مطالعات انجام شده نشان داد که زمان مورد نیاز برای خشک کردن پالپ انبه تازه (غیر کفی) و کفی به ترتیب ۷۵ و ۳۵ دقیقه بود، خشک کردن کف پوشی میوه پاپایا (Kandasamy *et al*., 2012)، خشک کردن کف پوشی پودر ماست (Wunwisa& Sumit 2012) که در این تحقیق متیل سلولز و آلبومین تخم مرغ در سطوح مختلف (۰/۵، ۱، ۱,۵و ۲٪ برای متیل سلولز و ۱، ۲، ۳ و ۴٪ برای آلبومین تخم مرغ) به عنوان عامل کف ساز مورد استفاده قرار گرفت. مخلوط ماست و عوامل کف ساز با استفاده از هم زن (W۹۰۰) با بیشترین سرعت برای ۵، ۷، ۹ و ۱۲ هم زده شد. ویژگیهای کف از جمله دانسیته کف، پایداری کف و انبساط کف اندازه گیری شد. ۳٪ آلبومین با زمان هم زدن ۱۲ دقیقه بهترین نتیجه را داد. سپس کف ماست در دمای ۵۰، ۶۰ و۷۰ برای مدت ۳ ساعت خشک شد، خشک کردن کف پوشی گوجه فرنگی (Kadam& Balasubramanuan 2011)، محققان کف بهینه جهت تولید پودر گوجه فرنگی را با افزودن سفیده تخم مرغ در سطح ۱۰ درصد (وزنی / وزنی) به پوره گوجه فرنگی (بریکس ۴ درجه) و زمان هم زدن به مدت ۱۰ دقیقه تولید کردند. نتایج به دست آمده نشان داد که افزایش غلظت تخم مرغ تا سطح ۱۵ درصد (وزنی/ وزنی) سبب بهبود ویژگی های کف و بهبود فرایند خشک کردن می‌گردد و سطوح بالاتر از ۱۵ درصد تاثیر مطلوبی بر فرایند خشک کردن ندارد، اشاره نمود.

از عوامل موثر در سرعت انتقال رطوبت از نمونه کف طی فرآیند خشک کردن کف پوشی و در نهایت کیفیت پودر نهایی ، دانسیته و پایداری کف می‌باشند. کف بهینه شده باید تا یک ساعت پس از تهیه در طی فرایند خشک کردن پایدار باشد. در این حالت می توان اظهار داشت که پودر تهیه شده به روش خشک کردن کف پوشی دارای کیفیت مطلوبی است (Ratti & Kudra 2006; Bates 1964).

جهت تشکیل کف و ایجاد حباب در فاز پیوسته، حضور عوامل کف زا و پایدار کننده در فاز پیوسته امری ضروری می‌باشد. بسیاری از پروتئین‌ها می‌توانند به عنوان عامل کف ساز و پایدار کننده های مؤثر کف مورد استفاده قرار بگیرند. تشکیل کف به خصوصیات فیلم دهندگی و خواص فعالیت سطحی پروتئین‌های موجود در غذا که در غلظت نسبتاً کم موجود هستند، بستگی دارد (Kinsella 1981، Halling 1981).

سفیده تخم مرغ [1] از منابع پروتئین است که بطور گسترده ای جهت ایجاد کف در فراورده های غذائی نظیر انواع کیک، کلوچه و انواع دسر ها بکار می رود. سفیده دارای ترکیبات مختلفی از جمله آب، پروتئین،چربی، کربوهیدرات ریبوفلاوین، نیاسین، پتاسیم، سدیم، سولفور، منیزیوم و میباشد(Kinsella 1981، Halling 1981) که به دلیل وجود ۹۰٪ پروتئین قادر به ایجاد کف پایدار در ماده غذائی می گردد.

1- Egg white

صمغ عربی یا صمغ اقاقیا یک پلی ساکارید بسیار منشعب با وزن مولکولی بالا و دارای مقادیر جزئی پروتئین مشتق شده از ترشحات درخت اقاقیای سنگال[1] و درخت اقاقیای سیال[2] میباشد که امروزه غالبا به عنوان ترکیب هیدروکلوئیدی در آبمیوه ها و پوره آنها استفاده می‌شود. انحلال پذیر ی بالا در آب گرم و سرد، پایداری حرارتی در محدوده دمایی صفر تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد و ویسکوزیته کم در PH های بالا و پایین به دلیل وجود بارهای یونی از خصوصیات این صمغ می باشد. این صمغ به عنوان یک امولسیفایر کارامد و تثبیت کننده طولانی مدت به شمار رفته و در فرآورده های غذایی، لوازم آرایشی و بهداشتی و محصولات حاوی روغن و آب کاربرد دارد (فاطمی، ۱۳۸۶).

هدف از این پژوهش بهینه‌سازی شرایط تولید کف پایدار از پوره چغندر قرمز با استفاده از پایدار کننده صمغ عربی و سفیده تخم مرغ بعنوان عامل کف زا جهت تهیه پودر چغندر قند با استفاده از روش خشک کردن کف پوشی می باشد.

مواد و روش ها

آماده سازی پوره چغندر قرمز:

جهت انجام پژوهش چغندر قرمز (*Beta vulgaris var.esculenta*) از بازار تهیه شده و تا زمان مصرف در یخچال نگهداری گردید. در هر بار آزمون مقدار مورد نیاز چغندر قرمز برداشته، شسته وپوستگیری شدند. سپس چغندر ها در قطعات کوچکتر خرد شده، توسط غذاساز مولینکس به مدت ۱ دقیقه له شدند تا پوره همگنی بدست آمد.

آماده سازی صمغ عربی:

به منظور آب گیری صمغ عربی، میزان مشخصی صمغ توسط ترازوی دیجیتالی (مدل AND.EK-300i) با دقت ۰/۰۱ گرم وزن شد و درون مقدار مشخص آب مقطر ریخته شد به صورتی که محلول حاصل دارای غلظت ٪۰/۱ (وزنی/ وزنی) صمغ عربی باشد. برای کنترل و حفظ یکنواختی مخلوط شدن صمغ و جلوگیری از کلوخه شدن آن از هم زن مغناطیسی استفاده شد و صمغ توزین شده به آرامی و با دقت به آب مقطر اضافه شد. سپس محلول مورد نظر به مدت ۱۸-۲۴ ساعت در یخچال قرار گرفت تا هیدراسیون کامل مولکول‌های صمغ صورت پذیرد.

تهیه کف چغندر قرمز

نسبت های مورد نظر پوره چغندر قرمز (۴۰،۵۰و۶۰ درصد وزنی/وزنی) با نسبت های مورد نظر سفیده تخم مرغ (۵،۱۰و۱۵ درصد وزنی/وزنی) به عنوان عامل کف زا و غلظت های مورد نظر صمغ عربی(۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ درصد وزنی/وزنی) به عنوان پایدار کننده در مدت زمان (۳،۶ و۹ دقیقه) با همزن خانگی سانی (مدل SM88) با ماکزیمم دور (۱۵۰۰ دور در دقیقه) به هم زده شدند. در انتها، دانسیته و پایداری کف اندازه گیری و شرایط بهینه با استفاده از روش سطح – پاسخ تعیین گردید.

اندازه گیری دانسیته کف[3]

دانسیته کف با اندازه گیری وزن ۵۰ میلی لیتر از کف که بلافاصله پس از هم زدن درون استوانه مدرج ۵۰ میلی لیتر در دمای محیط ریخته شد، تعیین گردید. انتقال کف به درون استوانه برای جلوگیری از تخریب ساختار کف و همچنین اطمینان از اینکه هیچ حفره هوایی درون استوانه مدرج ایجاد نشود، با دقت انجام شد. (Wai& Karim 1999).

حجم کف/ وزن کف = دانسیته کف

اندازه گیری پایداری کف[4]

پایداری کف به این معناست که کف‌ها باید ساختار باز خودشان را طی فرایند خشک کردن حفظ کنند. این ساختار برای خشک کردن سریع تر و همچنین سهولت کار مطلوب است. پایداری کف با اندکی تغییر بر اساس روش Sauter و Montoure (۱۹۷۲) انجام پذیرفت. مقدار ۵۰ گرم کف بلافاصله پس از تولید درون قیف بوخنر با قطر ۸۰ میلی متر که درون آن یک توری پلاستیکی با مش ۴۰ برای جلوگیری از خروج کف قرار داده شده بود، ریخته شد و روی استوانه مدرج ۵۰ میلی لیتر قرار داده شد. مایعی که در طول زمان به سبب نیروی گرانشی از کف جدا شده بود، در استوانه جمع شد. حجم مایع جدا شده به ازاء میلی لیتر پس از ۱ساعت ، مستقیما از روی استوانه خوانده و ثبت شد (پاسبان، ۱۳۹۱ ;عزیزپور، ۱۳۹۱)

طرح آزمایش و تجزیه و تحلیل

(RSM) یا روش سطح پاسخ مجموعه ای از تکنیک های ریاضی و کاربردهای آماری است که برای مدل سازی و تجزیه و تحلیل مسائل، فورمولاسیون و بهینه سازی فرایندها با به حداقل رساندن تعداد آزمایشات به‌کار می‌رود. در واقع در روش سطح پاسخ برای هر متغیر وابسته به طور جداگانه مدلی تعریف می‌شود که اثر اصلی و متقابل فاکتورها را بر روی هر متغیر به صورت مجزا بیان می‌کند. برای آزمایشی که هدف آن بهینه سازی است، طرح مرکب مرکزی ارجحیت دارد (Mead& Pike ، ۱۹۷۵).

در این تحقیق طرح مرکب مرکزی متمرکز شده[5] (FCCD) با ۴

1- Acacia Senegal
2- Acacia seyal

3- Foam Density
4- Foam Stability
5- Face-Centered Centeral Composite Design

متغیر مستقل و شش تکرار در نقطه مرکزی طرح، به منظور یافتن اثر متغیرهای مستقل (غلظت صمغ، درصد پوره ،درصد سفیده تخم مرغ و زمان هم زدن) بر خصوصیات کف شامل دانسیته و پایداری کف مورد استفاده قرار گرفت. سطوح متغیرهای مستقل به صورت حقیقی و کد شده برای صمغ عربی در جدول ۲، ارایه شده است. مدل‌های مختلفی بر داده‌های حاصل از آزمایش‌ها برازش داده شد و با توجه به نتایج آنالیز واریانس بهترین مدل انتخاب گردید. سپس بهینه سازی به روش سطح – پاسخ با استفاده از نرم افزار Design Expert نسخه ۶/۰/۲ (Stat-Ease Inc., Minneapolis, Minn., USA) صورت گرفت.

جدول ۲- سطوح متغیرهای مستقل و کدهای مربوطه

متغیر مستقل	نماد ریاضی	کد و سطح مربوطه		
		+۱	۰	۱
میزان صمغ ٪(w/w)	A	۰/۴	۰/۲۵	۰/۱
میزان سفیده تخم مرغ٪(w/w)	B	۱۵	۱۰	۵
میزان پوره٪ (w/w)	C	۶۰	۵۰	۴۰
زمان هم زدن(min)	D	۹	۶	۳

جدول ۳- نتایج طرح آزمایشی مورد استفاده در بهینه سازی کف توسط صمغ عربی

متغیر مستقل				پاسخ	
زمان هم زدن (min)	درصد تخم مرغ(w/w)	درصد پوره (w/w)	درصد صمغ (w/w)	دانسیته کف (g/cm^3)	پایداری کف (ml)
۹	۵	۴۰	۰/۴	۰/۵۸	۸
۶	۱۰	۵۰	۰/۴	۰/۵	۶
۹	۵	۴۰	۰/۱	۰/۳۲۵	۱۸
۶	۱۰	۵۰	۰/۲۵	۰/۴	۷
۹	۱۰	۵۰	۰/۲۵	۰/۳	۲
۳	۱۰	۵۰	۰/۲۵	۰/۴۷۶	۶
۳	۱۵	۴۰	۰/۱۰	۰/۳۷۲	۱۴
۶	۱۰	۵۰	۰/۲۵	۰/۴۲	۸
۶	۱۵	۵۰	۰/۲۵	۰/۳۶	۶/۵
۹	۱۵	۶۰	۰/۱۰	۰/۲۶	۱۰
۹	۵	۶۰	۰/۴۰	۰/۴	۰
۳	۱۵	۶۰	۰/۴۰	۰/۳۶۲	۰
۶	۱۰	۵۰	۰/۲۵	۰/۴۳	۸/۸
۳	۵	۶۰	۰/۱۰	۰/۴۰۹	۵
۳	۵	۴۰	۰/۴۰	۰/۶۹۸	۱۲/۵
۹	۱۵	۴۰	۰/۴۰	۰/۴۹	۶
۹	۵	۶۰	۰/۱۰	۰/۳۵	۱۰
۳	۱۵	۶۰	۰/۱۰	۰/۲۹	۹
۶	۱۰	۵۰	۰/۲۵	۰/۴	۷/۵
۹	۱۵	۶۰	۰/۴۰	۰/۳۳	۰
۶	۱۰	۵۰	۰/۲۵	۰/۴۲	۷
۶	۱۰	۶۰	۰/۲۵	۰/۲۷۴	۰
۳	۵	۴۰	۰/۱۰	۰/۴۷۲	۲۲
۹	۱۵	۴۰	۰/۱۰	۰/۲۵	۱۴
۶	۱۰	۵۰	۰/۱۰	۰/۲۶۹	۹/۵
۶	۵	۵۰	۰/۲۵	۰/۴۶	۸/۵
۶	۱۰	۵۰	۰/۲۵	۰/۳۸	۴
۳	۱۵	۴۰	۰/۴۰	۰/۶۱۴	۱۰
۶	۱۰	۴۰	۰/۲۵	۰/۵۳	۱۲
۳	۵	۶۰	۰/۴۰	۰/۵۷	۴

بحث و نتایج

گزینش مدل مناسب جهت تولید کف چغندر قرمز

نتایج به دست آمده از طرح آزمایشی مورد استفاده برای بهینه‌سازی شرایط تولید کف چغندر قرمز در جدول ۳ ارایه شده است.

با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز واریانس، مدل چند جمله-ای درجه دوم و مدل برهمکنش دوفاکتوره به عنوان بهترین مدلها برای بررسی اثر متغیرهای مستقل بر پایداری و دانسیته کف چغندرقرمز انتخاب گردید (جدول۴).

بالا بودن مقدار ضریب تبیین (R^2)، R^2 adjusted، R^2 predicted و همچنین عدم معنی‌داری آزمون ضعف برازش در مدل مذکور مؤید قدرت بالای مدل در برازش داده‌های آزمون می‌باشد(Myers 2002، Baldin *et al*., 2004). (جدول ۵).

به منظور بررسی اثر متغیرهای مستقل بر پاسخ‌ها، نمودار سه بعدی برای هر پاسخ با استفاده از نرم افزار Design Expert نسخه ۶/۰/۲ (Stat-Ease Inc., Minneapolis, Minn., USA) رسم گردید. در هر نمودار اثر دو متغیر در حالیکه متغیر سوم و چهارم در نقطه مرکزی قرار داشت، بررسی شد.

بررسی اثر متغیرها بر پایداری کف

از جمله روش‌های تعیین پایداری کف، اندازه‌گیری میزان مایع جدا شده از کف طی مدت زمان معین می‌باشد که در آن مقدار مایع جدا شده از کف معیاری از پایداری و قابلیت نگهداری مایع توسط کف می‌باشد، به طوری که با افزایش پایداری، مقدار مایع جدا شده کاهش می‌یابد.

نتایج نشان داد درصد صمغ و درصد پوره به صورت خطی، اثرات کاملا معنی داری ($P<۰/۰۰۰۱$) برپایداری کف داشتند.

جدول ٤- نتایج آنالیز آماری مدل های برازش یافته بر داده های پاسخ کف حاصل از صمغ عربی

منبع	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F	مجموع مربعات	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
		دانسیته کف				مقدار مایع جدا شده (پایداری کف)			
میانگین	۱	۵/۰۷	۵/۰۷			۱۸۴۵/۵۴	۱۸۴۵/۵۴		
خطی	۴	۰/۳۰	۰/۰۷۵	۳۰/۵۹	۰/۰۰۰۱	۶۰۷/۷۶	۱۵۱/۹۴	۲۳/۵۴	۰/۰۰۰۱
2FI	۶	۰/۰۳۰	۰/۰۰۵۰۶	۳/۱۰	۰/۰۲۷۳	۴۴/۷۲	۷/۴۵	۱/۲۱	۰/۳۴۲۱
درجه دو	۴	۰/۰۰۵۶۸	۰/۰۰۱۴۲	۰/۸۴	۰/۵۲۰۶	۵۱/۹۶	۱۲/۹۹	۳/۰۱	۰/۰۵۲۲
درجه سه	۸	۰/۰۱۸	۰/۰۰۲۲۶۲	۲/۱۹	۰/۱۵۹۱	۳۶/۴۹	۴/۵۶	۱/۱۳	۰/۴۴۲۰
باقیمانده	۷	۰/۰۰۷۲۳۶	۰/۰۰۱۰۳۴			۲۸/۲۲	۴/۰۳		
مجموع	۳۰	۵/۴۳	۰/۱۸			۲۶۱۴/۶۹	۸۷/۱۶		

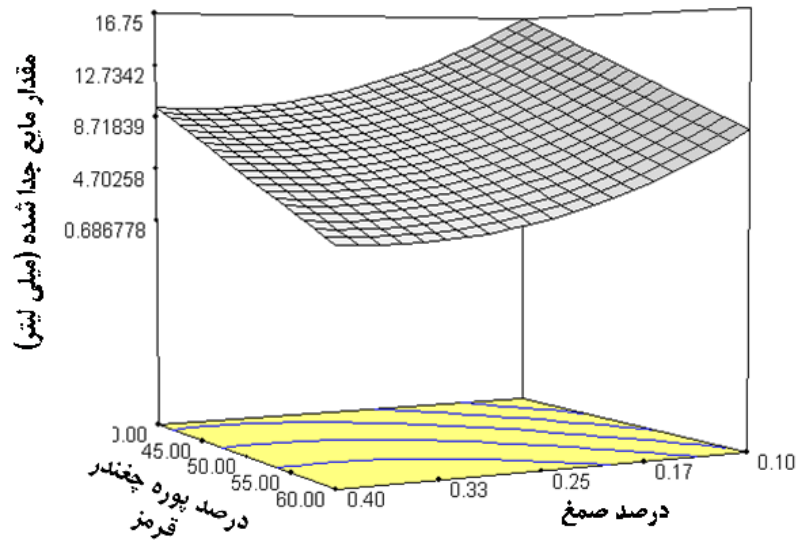
جدول ٥- نتایج آنالیز آماری مدل برازش یافته کف حاصل از صمغ عربی بر داده های پاسخ

پاسخ	میانگین	انحراف معیار (SD)	ضریب تغییرات (CV)	R^2	R^2 adjusted	R^2 predicted
دانسیته	۰/۴۱	۰/۰۴۰	۹/۷۰	۰/۸۹۴۵	۰/۸۷۲۶	۰/۸۳۴۴
مقدارمایع جداشده	۷/۸۴	۲/۴۲	۳۰/۹۱	۰/۸۰۱۴	۰/۷۷۸۴	۰/۷۲۹۶

جدول ٦- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای پایداری کف صمغ عربی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۶۱۶/۳۶	۳	۲۰۵/۴۵	۳۴/۹۶	$<۰/۰۰۰۱^{**}$
A	۲۳۴/۷۲	۱	۲۳۲/۷۲	۳۹/۹۴	$<۰/۰۰۰۱^{**}$
C	۳۴۲/۳۵	۱	۳۴۲/۳۵	۵۸/۲۶	$<۰/۰۰۰۱^{**}$
A^2	۳۲/۲۹	۱	۳۹/۲۹	۶/۶۹	۰/۰۱۵۷
ضعف برازش	۱۳۹/۳۲	۲۱	۶/۶۳	۲/۴۶	$۰/۱۶۱۰^{ns}$
خطا	۱۳/۴۸	۵	۲/۷۰	–	–

**معنی‌دار در سطح ۹۹٪، ^{ns} در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل الف. نمودار رویه پاسخ مقدار مایع جدا شده کف؛ اثر غلظت صمغ و درصد پوره در زمان هم زدن ثابت (برابر ٦ دقیقه) و درصد تخم مرغ ثابت (۱۰درصد)

اثر غلظت صمغ و درصد پوره در زمان هم زدن ثابت (برابر ۶ دقیقه) و درصد تخم مرغ ثابت (۱۰درصد) در شکل الف، نشان داده شده است.

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، با افزایش غلظت صمغ عربی تا حدود ۰/۳۳ مقدار مایع جدا شده کاهش و سپس ثابت ماند. صمغ عربی از طریق افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته و کاهش تحرک و بهم پیوستن حباب‌ها و نیز افزایش خاصیت ویسکوالاستیک و ارتجاعی لاملا، مقاومت دیواره حباب و به دنبال آن پایداری کف را افزایش داد (Papalamprou *et al*., 2005). علاوه بر این مقادیر جزئی پروتئین در این صمغ می تواند موجب بهبود خصوصیات حباب و خصوصیات کف‌زایی شده باشد.

Bag *et* ، Raharitsifa *et al*., 2006 ، Karim & Wai 1999 *al*.,2011 به ترتیب در بررسی ویژگی های کف تهیه‌ی شده از پالپ میوه استار، آب سیب و پالپ میوه بائل به نتایج مشابه دست یافتند.

با توجه به نتایج مشاهده می‌شود افزایش درصد پوره در سوسپانسیون، مقدار مایع جدا شده را کاهش و پایداری را افزایش داد. Falade و همکاران (۲۰۰۳) در مطالعات خود بر روی لوبیای چشم بلبلی به نتایج مشابهی رسیده و بیان داشتند که افزایش مواد جامد در سوسپانسیون پایداری را افزایش می‌دهد. احتمالاً این امر می‌تواند ناشی از افزایش ویسکوزیته سوسپانسیون و یا عملکرد ترکیبات پوره باشد.

مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتور های کد گذاری شده که تاثیر متغیرهای معنی دار فرایند را بر پایداری کف حاصل از صمغ عربی نشان می‌دهد، در معادله ۱ آمده است.

$$\text{پایداری کف} = +۶/۴۴ - ۳/۶۱A - ۴/۳۶C + ۲/۳۴A^2 + ۱/۲C^2 \quad (۱)$$

$$(R^2 = ۰/۸۰۱۴)$$

در این معادله، A غلظت صمغ عربی بر حسب گرم بر ۱۰۰ گرم مخلوط، C درصد پوره(وزنی / وزنی) و A2 اثر درجه دوم غلظت صمغ می‌باشد

بررسی اثر متغیرها بر دانسیته کف

نتایج جدول۷ نشان می‌دهد که غلظت صمغ، درصد پوره،درصد سفیده تخم مرغ و زمان هم زدن اثر کاملاً معنی‌دار ($P<۰/۰۰۰۱$) و خطی بر مقدار مایع جدا شده (پایداری) کف داشتند. اثر متقابل صمغ و درصد پوره نیز کاملاً معنی‌دار ($P<۰/۰۰۱$) بود.

شکل ۲، اثر درصد پوره و غلظت صمغ (در زمان زدن ۶ دقیقه و تخم مرغ ۱۰ درصد) را بر دانسیته کف نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل ۲، مشاهده می‌شود درصد پوره تاثیر قابل توجهی بر دانسیته کف داشته است. اثر درصد پوره بر دانسیته کف در غلظت‌های پایین صمغ تقریبا ناچیز می باشد، اما در غلظت های بالای صمغ با افزایش درصد پوره دانسیته کف به طور پیوسته و قابل توجّهی کاهش یافته است (قابلیت کف زایی افزایش می‌یابد).

افزایش برهمکنش مولکولهای صمغ ترکیبات پوره و سفیده تخم مرغ در غلظت‌های بالای صمغ و پوره احتمالاً از دلایل کاهش دانسیته باشد.

هم چنین مشاهده شد در سطوح پایین پوره افزایش غلظت صمغ عربی موجب افزایش دانسیته و کاهش قابلیت کف زایی گردید که این امر ناشی از افزایش ویسکوزیته فاز پیوسته و ممانعت از ورود هوا به درون سیستم طی فرایند هم زدن می‌تواند باشد(شکل ۲).

شکل ج، اثر زمان هم زدن و غلظت صمغ عربی (۷ درصد سفیده تخم مرغ و ۵۰ درصد پوره) را بر دانسیته کف نشان میدهد.

افزایش زمان هم زدن نیز همانند درصد پوره بر دانسیته کف تاثیرگذار بود، به طوری که با فزایش زمان همزدن دانسیته بصورت خطی و معنی داری کاهش می یابد (شکل ۳). افزایش زمان هم زدن موجب ورود بیشتر هوا به درون سیستم کف و کاهش بیشتر دانسیته و افزایش بیشتر انبساط کف می‌گردد. دناتوره شدن پروتئین‌ها و افزایش احتمالی گروه های آب دوست در سطح به دنبال افزایش مدت زمان هم زدن، می‌تواند از دلایل دیگر کاهش دانسیته کف باشد (Raharitsifa و همکاران، ۲۰۰۶).

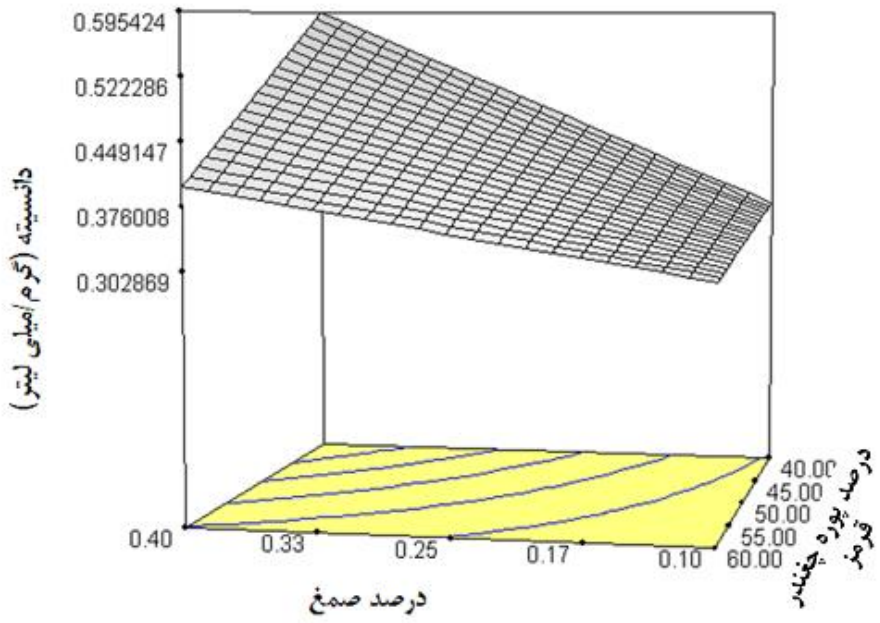
شکل د. اثر سطوح مختلف سفیده تخم مرغ و صمغ عربی را بر دانسیته کف در نسبت های ثابت پوره و زمان همزدن نشان می دهد.

همان طور که مشاهده می شود با افزایش درصد سفیده تخم مرغ بدلیل افزایش عامل کف زا در محیط دانسیته بطور خطی و معنی دار کاهش یافته است.Karim & Wai (۱۹۹۹) بیان کردند که افزایش غلظت آلبومین به دلیل حرکت عوامل کف ساز از فاز آبی به سمت سطح مشترک هوا– مایع موجب کاهش کشش سطحی می‌شود که این مکانیسم منجر به افزایش خاصیت کف کنندگی و کاهش دانسیته می‌شود.

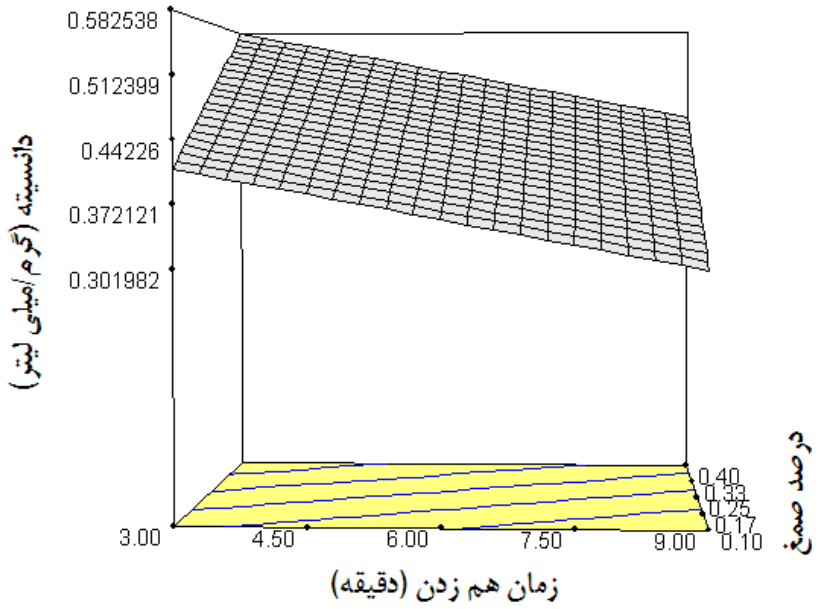
جدول ۷- نتایج تجزیه واریانس (ANOVA) مدل سطح پاسخ درجه دوم کاسته برای دانسیته حاصل از صمغ عربی

منبع	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	اندیس F	احتمال F
مدل	۰/۳۲	۵	۰/۰۶۵	۴۰/۷۱	<۰/۰۰۰۱**
A (غلظت صمغ)	۰/۱۳	۱	۰/۱۳	۸۳/۶۰	<۰/۰۰۰۱**
B(درصد سفیده تخم مرغ)	۰/۰۴۹	۱	۰/۰۴۹	۳۰/۶۵	<۰/۰۰۰۱**
C (درصد پوره)	۰/۰۶۶	۱	۰/۰۶۶	۴۱/۲۵	<۰/۰۰۰۱**
D(زمان هم زدن)	۰/۰۵۳	۱	۰/۰۵۳	۳۳/۴۶	<۰/۰۰۰۱**
AC	۰/۰۲۳	۱	۰/۰۲۳	۱۴/۶۱	۰/۰۰۰۸
ضعف برازش	۰/۰۳۲	۱۹	۰/۰۰۱۷۰۹	۱/۵۰	۰/۳۴۵۷ ns
خطا	۰/۰۰۵۶۸۳	۵	۰/۰۰۱۱۳۷	–	–

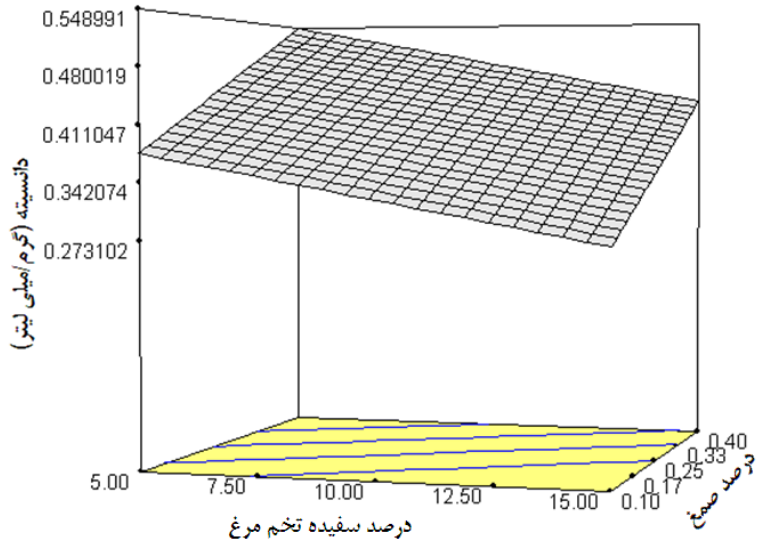
** معنی‌دار در سطح ۹۹٪، ns در سطح ۹۵٪ معنی‌دار نمی‌باشد.



شکل ۲- نمودار سطح پاسخ دانسیته کف؛ اثر غلظت صمغ عربی و درصد پوره در زمان هم زدن و درصد سفیده تخم مرغ ثابت



شکل ۳- نمودار رویه پاسخ دانسیته کف ؛ اثر زمان هم زدن و غلظت صمغ عربی (۷ درصد سفیده تخم مرغ و ۵۰ درصد پوره)



شکل ٤- نمودار سطح پاسخ دانسیته کف ؛ اثر غلظت صمغ عربی و سفیده تخم مرغ (۵۰ درصد پوره و زمان هم زدن ٦ دقیقه)

مدل تجربی نهایی بر حسب فاکتور های کد گذاری شده که تاثیر متغیرهای معنی دار فرایند را بر دانسیته کف حاصل از صمغ عربی نشان می‌دهد، در معادله ۲ آمده است.

انسیته کف = +۰/۴۱ +۰/۰۸۶A– ۰/۰۵۲B–۰/۰۶۰C –۰/D۰۵۴ -۰/۰۳۸ AC

$(R^2$=۰/۸۹۴۵) (۲)

در این معادله، A غلظت صمغ عربی بر حسب گرم بر ۱۰۰ گرم مخلوط، B درصد سفیده تخم مرغ (وزنی / وزنی) ، C درصد پوره (وزنی / وزنی) ،D زمان همزدن (دقیقه) و AC اثر متقابل درصد صمغ و پوره می‌باشد.

تعیین شرایط بهینه تولید کف با استفاده از صمغ عربی

به منظور تولید کف بهینه با استفاده از روش بهینه سازی عددی

جستجو شد . با توجه به پاسخ های (دانسیته کف و مقدار مایع جدا شده)، سطوح بهینه غلظت صمغ،غلظت سفیده تخم مرغ، درصد پوره و زمان هم زدن تعیین گردید. در این بررسی، هدف بهینه سازی، تولید کف توسط صمغ عربی با کمترین دانسیته و بیشترین پایداری (کمترین مقدار مایع جدا شده) در نظر گرفته شد. شاخص‌ها و اهداف بهینه‌سازی برای هر یک از متغیرها و پاسخ‌های فرآیند در جدول ۸ نشان داده شده است. شرایط بهینه جهت تولید کف با کمترین دانسیته و مقدار مایع جدا شده در غلظت صمغ۰/۲۹،غلظت سفیده تخم مرغ ۱۵ درصد، غلظت پوره ۶۰ درصد و زمان هم زدن ۹ دقیقه به دست آمد.

نتیجه گیری

افزودن سفیده تخم مرغ به عنوان عامل کف زا در غلظت های (۵ تا ۱۵ درصد وزنی / وزنی) به طور معنی داری منجر به افزایش تولید کف و در نتیجه کاهش تراکم کف گردید. همچنین مشاهده شد افزودن پوره چغندر قرمز (۵۰ تا ۶۰ درصد وزنی / وزنی) و افزایش زمان هم زدن (از ۳ تا ۹ دقیقه) نیز به طور معنی داری ($P<۰/۰۰۰۱$) منجر به کاهش تراکم کف میشود که از دلایل آن را می‌توان وارد نمودن هوای بیشتر به نمونه دانست. به منظور بهبود ویژگی های کف برای فرآیند خشک کردن از تثبیت کننده کف (صمغ عربی) استفاده گردید و مشاهده شد با افزایش درصد صمغ بر پایداری کف حاصله افزوده میشود($P<۰/۰۰۱$) .

جدول ۸ -شاخص‌ها و اهداف بهینه‌سازی تولید کف توسط صمغ عربی

متغیرها/پاسخ‌ها	هدف	حد پایین	حد بالا	درجه اهمیت
غلظت صمغ	داخل محدوده	۰/۱	۰/۴	۳
غلظت سفیده تخم مرغ	داخل محدوده	۵	۱۵	۳
درصد پوره	داخل محدوده	۴۰	۶۰	۳
زمان هم زدن	داخل محدوده	۳	۹	۳
دانسیته	حداقل	۱۲/۵	۳۴/۹	۳
مقدار مایع جداشده	حداقل	۰	۲۲	۳

منابع

فاطمی، ح. ۱۳۸۶. شیمی مواد غذایی. چاپ ششم شرکت سهامی انتشار، تهران.

پاسبان، آ.۱۳۹۱. بهینه سازی شرایط تولید پودر قارچ دکمه ای با استفاده از روش خشک کردن کف پوشی. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

عزیز پور، م. ۱۳۹۱. بهینه سازی شرایط تولید کف و ارزیابی کینتیک انتقال جرم میگو به روش کف پوشی. پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.

Bag, S.K., Srivastav, P.P. & Mishra, H.N., (2011). Optimization of Process Parameters for Foaming of Bael (Aegle marmelos L.) Fruit Pulp. Food and Bioprocess Technology, 4(8), 1450-1458.

Baldini M, Danuso F and Turi M, (2004). Evaluation of new clones of Jerusalem artichoke for inulin and sugar yield from stalks and tubers. Industrial Crops and Products 19: 25–40.

Bates, R. P. (1964). Factors affecting foam production and stabilization of tropical fruit products. Journal of Food Technology, 18(1): 93-96.

Beristain, CI., Cortés, R., Casillas, MA., and Díaz, R. (1991). Obtainment of pineapple juice powder by foam-mat drying. Arch Latinoam Nutr. Jun, 41(2): 238-45.

Damodaran, s. (1996). Amino Acids, Peptides, and Proteins, in Food Chemistry, 3rd ed. Fennema, O. R. New York, 157-233.

Delgado-Vargas, F., Jiménez, A. R., & Paredes-López, O. (2000). Natural pigments:Carotenoids, anthocyanins, and betalains — characteristics, biosynthesis, processing,and stability. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 40, 173–289.

Dörnenburg, H., & Knorr, D. (1996). Generation of colors and flavors in plant cell and tissue cultures. Critical Review in Plant Sciences, 15, 141–168.

Falade, K.O., Adeyanju, K.I. & Uzo-Peters, P.I., (2003). Foam-mat drying of cowpea (Vigna unguiculata) using glyceryl monostearate and egg albumin as foaming agen. European Food Research and Technology, 217(6), 486-491.

Fletcher, A. (2006). Lycopene colorant achieves regulatory approval. foodnavigator.com/news.

Halling, P.J. 1981. Protein-stabilized foams and emulsions. CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutri. 18 (10): 155–197.
Kadam, D.M., & Balasubramanuan, S., (2011). Foam mat drying of tomato juice. Food Processing and Preservation, 35(4), 488-495.
Kadam, D.M., Patil, R.T. & Kaushik, P., (2010). Foam Mat Drying of Fruit and Vegetable Products. In: Jangam, S.V., Law, C.L. & Mujumdar, A.S (eds) Drying of Foods, Vegetables and Fruits ,Vol 1, pp 113-124. Central Institute of Post-Harvest Engineering and Technology , Ludhiana, India.
Kandasamy. P, Varadharaju. N, Kalemullah. S,. (2012). Foam-mat Drying of Papaya (Carica Papaya L.) using Glycerol monostearate as Foaming Agent. Food Science and Quality Management, ISSN 2224-6088.
Karim, A.A., & Wai, C.C., (1999). Characteristics of foam prepared from starfruit (Averrhoa carambola L.)puree by using methyl cellulose. Food Hydrocolloids 13, 203–210.
Karim, A.A., & Wai, C.C., (1999). Foam-mat drying of starfruit (Averrhoa carambola L.) puree Stability and air drying characteristics. Food Chemistry, 64(3), 337-343.
Kinsella, J. E . (1981). Functional properties of proteins: possible relationships between structure and function in foams. Food Chemistry,7: 273–288.
Lewicki, P.P. (2006) .Design of hot air drying for better foods. Trends in Food Science and Technology, 17(4): 153–163
Mead, R., and Pike, d.j. (1975). A reviewvof response surface methodlogy from a biometric viewpoint. Biometrics 31: 803-851.
Muthukumaran, A. (2007). Foam mat freeze drying of egg white and mathematical modeling. MSc Thesis, McGill University.
Myers, R. H., and Montgomery, D. C. (2002). Response surface methodology. Process and product optimization using designed experiments. New York: John Wiley & Sons.
Papalamprou, E. M., Makri, E. A., Kiosseoglou, V. D., and Doxastakis, G. I. (2005). Effect of medium molecular weight xanthan gum in rheology and stability of oil in-water emulsion stabilized with legume proteins. Journal of the Science of Food and Agriculture, 85(12): 1967-1973.
Ratti, C., & Kudra, T. 2006. Drying of foamed biological materials: opportunities and challenges. Journal of Drying Technology, 24(9): 1101-1108.
Rajkumar, P., Kailappan, R., Viswanathan, R. & Raghavan, G. S. V. (2007). Drying characteristics of foamed alphonso mango pulp in a continuous type foam mat dryer. Journal of Food Engineering, 79(4): 1452-1459.
Raharitsifa, N., Genovese, D. B. & Ratti, C. (2006). Characterization of Apple Juice Foams for Foam mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose, Journal of Food Science, 71(3): 142-151.
Reddy, K. M., Ruby, L., Lindo, A., & Nair, G. M. (2005). Relative inhibition of lipid peroxidation, cyclooxygenase enzymes and human tumor cells prolifieration by natural food color. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 9268–9273.
Sauter, E.A., and Montoure, J.E. (1972). The relationship of lysozyme content of egg white to volume and stability of foams. Journal of Food Science, (6): 918–920.
Stintzing, F. C., & Carle, R. (2004). Functional properties of anthocyanins and betalains in plants, food and in human nutrition. Trends in Food Science and Technolgy, 15, 19–38.
Stintzing, F. C., & Carle, R. (2006). Cactus fruits - more than colour. Fruit Processing, 16,166–171.
Stintzing, F. C., Schieber, A., & Carle, R. (2003). Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. European Food Research and Technology, 216, 303–311.
Stintzing, F. C., Herbach, K. M., Mosshammer, M. R., Carle, R., Yi, W., Sellappan, S., et al. (2005). Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (Opuntia spp.) clones. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 442–451.
Stauffer, C. E. (1999). Emulsifiers. St. Paul, Minnesota: Eagan Press.
Sauter, E. A. & Montoure, J. E. (1972). The relationship of lysozyme content of egg white to volume and stability of foams. Journal of Food Science, 37(6): 918-920.
Wunwisa Krasaekoopt and Sumit Bhatia.(2012). Production of Yogurt Powder Using Foam-Mat Drying. AU J.T. 15(3): 166-171

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 11, No. 1, Spring 2015, p. 77-87

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۴، ص. ۸۷-۷۷

Optimize the production of red beet stabilized (Beta vulgaris L) by Using Response Surface Methodology

A. Abbasi [1] – M. Mohebbi [2*]- E. Mahdian[3]

Received: 01-10-2013
Accepted:11-06-2014

Abstract

Foaming conditions of the red beet (Beta vulgaris L) puree were optimized using response surface methodology (RSM) with respect to Arabic gum concentrations (0.01 – 0.4% w/w), red beet puree (40 _ 60% w/w),egg white concentration(5 _ 15% w/w) and whipping time (3 – 9 min) for minimum foam density and foam drainage volume as response variables. Foams were prepared from various pulp concentrations by adding various concentrations of egg white as foaming agent and Arabic gum as stabilizer at different whipping time. The optimized conditions after the numerical and graphical optimization for maximum stability and minimum foam density were found at Arabic gum (0.29% w/w), egg white (15% w/w), red beet Puree (60% w/w), and whipping time (9 min).The results showed that the stability of foams increased with increasing Arabic gum concentration($p<0.001$) and density of foam decreased with increasing egg, puree concentration and whipping time ($p<0.0001$).

Keywords: Foam, Red Beet Puree, Egg White, Arabic Gum, Stability And Density , Response Surface Methodology

1 and 3- M.Sc. Student and Assistant Professor, Faculty Of Food Science, Azad University, Ghouchan, Khorasan Shomali, Iran, Respectively.

2. Associate Professors, Department of Food Science and Technology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad.

(*-Corresponding Author Email: mohebbatm@gmail.com)