

بهینه‌سازی فرمولاسیون دسر هوادار حاوی کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان با استفاده از روش سطح پاسخ و بررسی خواص رئولوژیکی و بافتی آن

سارا پارسه¹، محبت محبی^{1*}، تکتیم محمدی مقدم²، حسن صباغی¹

1- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* نویسنده مسئول (m-mohebbi@um.ac.ir)

2- گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده علوم پزشکی نیشابور، نیشابور، ایران

چکیده

تاریخ دریافت: 1399/08/04
تاریخ بازنگری: 1399/09/30
تاریخ پذیرش: 1399/10/01
تاریخ انتشار برخط: 1399/10/02

واژه‌های کلیدی

خواص بافتی
خواص رئولوژیکی
دسر هوادار
صمغ زانتان
کنسانتره پروتئین آب‌پنیر

دسر هوادار نوعی دسر بر پایه سیستم کف است که حضور هوا در آن باعث تغییر خواص رئولوژیکی، حسی و ظاهری می‌شود. هدف از این تحقیق بهینه‌سازی دسر هوادار با استفاده از تکنیک سطح پاسخ و ارزیابی خواص رئولوژیکی آن به‌عنوان تابعی از کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (2، 5 و 8 درصد)، صمغ زانتان (0/1، 0/25 و 0/4 درصد) و زمان هم‌زدن (2، 5 و 8 دقیقه) بود. نتایج نشان داد افزایش پروتئین و زمان هم‌زدن باعث کاهش دانسیته و افزایش اورران شد. افزایش غلظت صمغ زانتان باعث افزایش دانسیته و کاهش اورران گردید. شرایط بهینه جهت تولید کف دسر هوادار با کمترین میزان دانسیته و بالاترین میزان اورران در غلظت صمغ زانتان 0/1 درصد (سطح پایین)، مقدار کنسانتره پروتئین آب‌پنیر 8 درصد (سطح بالا) و زمان هم‌زدن 8 دقیقه (سطح بالا) تعیین شد. مدل پاورلا با داشتن R^2 بالا ($R^2 > 0/99$) و RMSE پایین (0/01) به‌عنوان بهترین مدل جهت توصیف رفتار جریان دسر هوادار شناخته شد. افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان باعث کاهش شاخص رفتار جریان و افزایش ضریب قوام در دسر هوادار شد ($P < 0/05$). همچنین با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن سختی، نیروی چسبندگی و ضریب قوام افزایش یافت. تولید دسر هوادار علاوه بر تولید یک محصول جدید، باعث افزایش قدرت انتخاب مصرف‌کننده‌ها و افزایش سودآوری تولیدکننده شده و می‌تواند کمک مؤثری در رشد اقتصاد صنعتی داشته باشد.



مقدمه

هوا در دسرها، باعث کاهش دانسیته محصول، تغییر خواص رئولوژیکی محصول و در نتیجه تغییر احساس دهانی، افزایش درک مزه به دلیل افزایش سطح، بهبود هضم، سهولت در جویدن غذا و بهبود دریافت عطر و طعم و در نهایت کاهش کالری‌زایی می‌شود. همچنین تولید فراورده‌های جدید حاوی هوا در صنایع غذایی، بازدهی اقتصادی را بهبود می‌بخشد. به همین دلیل تولید کف به

دسر هوادار نوعی دسر بر پایه سیستم کف است و معمولاً به دسرهای سرد لبنی گفته می‌شود که مهم‌ترین ویژگی آنها داشتن ساختار متخلخل می‌باشد. این دسر معمولاً با افزودن سفیده تخم‌مرغ، خامه و همچنین استفاده از زرده تخم‌مرغ، ژلاتین و ایجاد طعم توسط میوه، شکلات و سایر افزودنی‌ها مانند وانیل تهیه می‌گردد (Rao, 2010). حضور

صمغ‌ها ترکیباتی پلی‌ساکاریدی با وزن مولکولی بالایی هستند که برای پایداری سیستم‌های کفی و امولسیون‌ها استفاده می‌شوند. صمغ‌ها از طریق افزایش ویسکوزیته فاز آبی، از تحرک و به هم پیوستن حباب‌های هوا ممانعت به عمل می‌آورند و با تقویت دیواره حباب، پایداری کف را افزایش می‌دهند (Papalamprou, Makri, Kiosseoglou, & Doxastakis, 2005).

صمغ زانتان (XG⁶) پلی‌ساکارید میکروبی است که توسط انواع زانتوموناس⁷ تولید می‌شود. زانتان از واحدهای تکراری پنج‌تایی شامل گلوکز⁸، مانوز⁹، گلوکورونیک اسید¹⁰، پیروویک اسید¹¹ و استیل¹² تشکیل شده است (Kurbanoglu & Kurbanoglu, 2007). صمغ زانتان در بسیاری صنایع به‌ویژه صنعت غذا کاربرد متنوعی دارد. این صمغ فیلم‌های منعطف چسبناکی ایجاد می‌کند، به پایداری کف‌ها و امولسیون‌ها کمک می‌نماید و بنابراین به‌عنوان پایدارکننده و تقویت‌کننده ساختار کف در محصولات غذایی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. صمغ‌های خطی مانند زانتان در مقایسه با انواع انشعابی نظیر صمغ عربی؛ موجب افزایش بیشتر ویسکوزیته می‌شوند و تمایل به تشکیل سریع فیلم دارند (Kumar, Rao, & Han, 2018).

مطالعه‌های مربوط به بهینه‌سازی با روش سطح پاسخ و بررسی اثر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر بر خواص فیزیکی و رئولوژیکی دسرهای هوادار محدود است، درحالی‌که این روش برای طیف وسیعی از محصولات استفاده شده است. Salahi, Mohebbi و Taghizadeh (2015) با بررسی اثر آلومین، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن بر کف طالبی بیان کردند افزایش آلومین و زمان هم‌زدن موجب کاهش دانسیته شد و با افزایش صمغ زانتان دانسیته و پایداری افزایش یافت. O'Chiu و Vardhanabhuti (2017) بیان کردند افزایش پروتئین به‌دلیل افزایش ویسکوزیته، موجب کاهش میزان اورران ژل لبنی هوادهی شده شد. Akalin, Karagözü و Ünal (2008) در بررسی اثر غلظت پروتئین آب‌پنیر بر ویژگی‌های مختلف بستنی مشاهده کردند که با افزایش میزان پروتئین آب‌پنیر به فرمولاسیون بستنی

فرایندی مهم در صنعت غذا تبدیل شده است (Zimbru, Pădureț, & Amariei, 2020).

کف دیسپرسیونی است که در آن فاز گازی در فاز پیوسته (مایع یا جامد) پراکنده شده است و شکل‌گیری آن نیازمند حضور عوامل فعال سطحی¹ است. پروتئین‌ها به‌دلیل توانایی جذب در سطوح بینابینی هوا-مایع و کاهش کشش بین سطحی به‌عنوان عوامل کفزا شناخته می‌شوند. به‌طور کلی عملکرد اصلی پروتئین‌ها در تشکیل کف شامل کاهش کشش سطحی، افزایش خواص ویسکوالاستیک و الاستیکی فاز مایع و تشکیل فیلم‌های قوی است. پروتئین‌های شیر نمونه‌ای از پروتئین‌های غذایی هستند که به‌دلیل قابلیت کف‌زایی و امولسیفایری کاربرد گسترده‌ای در مواد غذایی دارند (Nicorescu et al., 2011).

کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (WPC²) یکی از محصولات پروتئین شیر است و ساختار اصلی این پروتئین، متشکل از 70 درصد بتا-لاکتوگلوبولین، آلفا-لاکتالبومین و آلبومین سرم گاو است. پروتئین‌های آب‌پنیر به‌دلیل خواص عملکردی همچون حلالیت در آب، ویسکوزیته، ژل‌شوندگی³، امولسیون‌کنندگی، کف‌زایی و تأثیر آنها بر رنگ، طعم، بافت و ارزش تغذیه‌ای محصولات، در صنعت غذا بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند (Perez, Martinez, Carrera Sanchez, & Patino, 2017).

کف‌ها از نظر ترمودینامیکی ناپایدار هستند، زیرا انرژی سطحی بالایی در سطح مشترک هوا-مایع دارند (Muthukumar, Ratti, & Raghavan, 2008). زهکشی⁴ و خروج مایع از کف به‌دلیل وجود خاصیت موئینگی⁵ و یا وجود نیروهای خارجی نظیر جاذبه باعث ناپایداری کف می‌شود. در نهایت حباب‌ها از شکل کروی به چندوجهی تغییر شکل می‌دهند، گاز از حباب‌های کوچک‌تر به بزرگ‌تر انتشار می‌یابد. با این حال، با افزایش اندازه حباب‌ها سطح تماس فیلم حباب‌ها بیشتر می‌شود و این فیلم‌ها آسان‌تر گسیخته می‌شوند در نتیجه تثبیت کامل کف‌ها در برابر تسهیم نامتناسب و زهکشی مایع دشوار است (Barik & Roy, 2009; Drenckhan & Langevin, 2010; Niranjana & Silva, 2008).

⁶ Xanthan gum

⁷ Xanthomonas

⁸ Glucose

⁹ Mannose

¹⁰ Glucuronic acid

¹¹ Pyruvic acid

¹² Acetyl

¹ Surface active agent

² Whey protein concentrate

³ Shear thinning

⁴ Drainage

⁵ Capillarity

حجمی) برای ایجاد نمونه‌های دسر هوادار تهیه گردید.

مخلوط‌کردن مواد مصرفی

شکر (10 درصد)، وانیل (0/1 درصد)، محلول ژلاتین 0/2 درصد (5 درصد)، محلول صمغ زانتان (40 درصد) و شیر (42/09 درصد) به‌طور یکسان به تمام نمونه‌ها افزوده شد. همچنین کنسانتره پروتئین آب‌پنیر با مقادیر 2، 5 و 8 درصد به فرمولاسیون نمونه‌ها اضافه گردید. مقدار شیر به‌کاررفته باتوجه‌به حجم نهایی نمونه‌ها تعیین شد. تمامی مواد جامد بعد از توزین با هم مخلوط شدند، سپس مواد مایع بعد از رسیدن به دمای 60 درجه سانتی‌گراد به مخلوط مواد جامد اضافه شد و درنهایت نمونه‌ها توسط همزن خانگی (مدل W-222، 240 GHM، ساخت چین) به مدت زمان 2، 5 و 8 دقیقه مخلوط و هم‌زده شدند.

پاستوریزه‌کردن

نمونه محصول به‌منظور پاستوریزه‌کردن و افزایش زمان ماندگاری در حمام آب گرم در دمای 69 درجه سانتی‌گراد به مدت 30 دقیقه قرار داده شد (Ohmes, Marshall, & Heymann, 1998).

بسته‌بندی و انجماد

به‌منظور رسیدن، نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در دمای 5 درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. دسر پس از خروج از یخچال توسط همزن خانگی به مدت 120 ثانیه هم‌زده شد. درنهایت نمونه‌ها در داخل ظرف درب‌دار بسته‌بندی و جهت انجماد در دمای (-10) درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت در فریزر قرار داده شدند (Rao, 2010).

آزمون‌ها

به‌منظور تعیین شرایط بهینه برای تولید دسر هوادار، دو ویژگی شامل دانسیته و اورران نمونه‌ها اندازه‌گیری شد.

دانسیته کف

بدین‌منظور دانسیته کف با استفاده از استوانه مدرج و توزین 50 میلی‌لیتر از نمونه کف در دمای محیط (25-22 درجه سانتی‌گراد) اندازه‌گیری شد. درنهایت دانسیته کف دسر هوادار وانیلی به‌صورت نسبت جرم به حجم با واحد (گرم بر سانتی‌متر مکعب) بیان گردید.

ویسکوزیته، ضریب قوام و به‌دنبال آن مقاومت به ذوب به‌صورت چشم‌گیری افزایش نمود ولی درصد اورران کاهش یافت. Alfaro Mohr (2008) با بررسی اثر مقادیر مختلف WPC و pH بر خصوصیات فیزیکوشیمیایی ژل‌های هوادار مشاهده کرد که با افزایش پروتئین و pH به‌ترتیب ویسکوزیته افزایش و کاهش یافت. همچنین با افزایش پروتئین و pH، دانسیته به‌ترتیب افزایش و کاهش یافت. Mirarab Razi (2014) اثر مقادیر مختلف ژلاتین و کنسانتره پروتئین آب‌پنیر بر ویژگی‌های فیزیکی و رئولوژیکی نمونه‌های دسر موس شکلاتی را بررسی کرد افزایش مقدار ژلاتین و پروتئین، موجب افزایش ویسکوزیته، ضریب قوام و کاهش شاخص رفتار جریان شد. همچنین با افزایش پروتئین دانسیته و اورران به‌ترتیب کاهش و افزایش یافت (Rao, 2010).

تولید دسر هوادار علاوه‌بر تولید یک محصول جدید، باعث افزایش قدرت انتخاب مصرف‌کننده‌ها و افزایش سودآوری برای تولیدکننده شده و می‌تواند کمک مؤثری در رشد اقتصاد صنعتی داشته باشد. هدف از این تحقیق بهینه‌سازی دسر هوادار وانیلی با استفاده از تکنیک سطح پاسخ و ارزیابی خواص رئولوژیکی آن به‌عنوان تابعی از کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (2، 5 و 8 درصد)، صمغ زانتان (0/1، 0/25 و 0/4 درصد) و زمان هم‌زدن (2، 5 و 8 دقیقه) می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مواد مورد استفاده

کنسانتره آب‌پنیر (WPC80) از شرکت سیگما (ساخت آلمان) و صمغ زانتان از شرکت میلی (ساخت آلمان)، شیر استرلیزه و هموژنیزه (1/5 درصد چربی)، پودر ژلاتین (نوع B)، شکر و وانیل از فروشگاه‌های محلی خریداری شد.

تهیه دسر هوادار

آماده‌سازی محلول هیدروکلوئید

براساس نتایج حاصل از پیش‌آزمون‌ها، مقادیر لازم از پودر صمغ زانتان با مخلوط‌کردن توسط هم‌زن مغناطیسی، به آب‌مقطر اضافه شد. پس از آن محلول صمغ به مدت 24 ساعت جهت هیدراتاسیون کامل مولکول‌های صمغ در دمای یخچال (4 درجه سانتی‌گراد) نگهداری شد. محلول صمغ زانتان در غلظت‌های 0/1، 0/25 و 0/4 درصد (وزنی -

اورران

اورران از طریق توزین حجم مشخصی از دسر قبل و بعد از مرحله هوادهی و تعیین درصد اختلاف آنها براساس رابطه (1) محاسبه شد:

رابطه (1)

$$\text{اورران} = \frac{\text{وزن نمونه بعد هوادهی} - \text{وزن نمونه قبل هوادهی}}{\text{وزن نمونه قبل هوادهی}} \times 100$$

خصوصیات رئولوژیکی

خصوصیات رئولوژیکی نمونه‌ها با استفاده از ویسکومتر چرخشی بوهلین (Bohlin Model Visco 88, Bohlin instruments ساخت انگلستان) مجهز به سیرکولاتور حرارتی (Julabo, Model F12-MC, Julabo, Labortechnik, ساخت آلمان) بررسی شد. باتوجه به ویسکوزیته نمونه‌ها، از اسپیندل باب و کاپ (C_{30}^1) جهت انجام آزمون‌ها استفاده شد. برای هر آزمون حجم مناسبی از هر نمونه به درون کاپ منتقل گردید و نمونه‌ها جهت رسیدن به ثبات حرارتی به مدت 20 دقیقه در دمای 5 درجه سانتی‌گراد نگهداشته شدند. سپس به نمونه‌ها سرعت برشی به صورت لگاریتمی در دامنه 14-600 (1 بر ثانیه) اعمال گردید. به منظور بررسی رفتار جریان دسر هوادار و توصیف داده‌های رئولوژیکی آن از مدل‌های متداول جریان مستقل از زمان شامل هرشل بالکی² رابطه (2)، پاورلا³ رابطه (3) استفاده شد. با استفاده از آنالیز آماری، مناسب‌ترین مدل ریاضی براساس شاخص‌های ضریب تبیین (R^2) و میانگین مجذورات خطا ($RSME^4$) انجام شد. همچنین جهت برازش مدل‌های رئولوژیکی از نرم افزار متلب⁵ نسخه 2011a استفاده گردید.

رابطه (2)

$$\tau = \tau_{0H} + K_H \gamma^{nH}$$

رابطه (3)

$$\tau = K(\gamma)^n$$

در رابطه (2) و (3)، τ نشان‌دهنده تنش برشی (پاسکال)، γ سرعت برشی (1 بر ثانیه)، τ_0 تنش تسلیم (پاسکال)، k ضریب قوام (پاسکال در ثانیه) و n شاخص

رفتار جریان است.

خصوصیات بافتی

خصوصیات بافتی نمونه‌ها بلافاصله بعد از خروج از فریزر توسط دستگاه آنالیز بافت (Texture analyzer LLOYD Instruments, TA plus ametek, ساخت انگلستان) و آزمون نفوذ⁶ مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از پروب استوانه‌ای به قطر 6 میلی‌متر برای نفوذ به عمق 15 میلی‌متر نمونه‌ها و با سرعت 1 میلی‌متر بر ثانیه استفاده شد. پارامترهای سختی⁷ (حداکثر نیرو طی مرحله بارگذاری (گرم))، نیروی چسبندگی⁸ (حداکثر نیرو طی مرحله باربرداری (گرم))، ضریب قوام⁹ (سطح زیر منحنی تا رسیدن به تغییر شکل هدف (گرم در ثانیه)) از منحنی نیرو-زمان استخراج شدند (Akalin et al., 2008).

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طرح آزمایشی، آنالیز نتایج و تعیین شرایط بهینه تولید دسر هوادار با استفاده از روش سطح-پاسخ و نرم افزار Design Expert نسخه 10 انجام گرفت. در این پژوهش، از طرح مرکب مرکزی¹⁰ متمرکز شده (FCCD) با سه متغیر مستقل در سه سطح و 6 تکرار در نقطه مرکزی طرح استفاده شد؛ به طوری که مجموع کل تیمارها 20 عدد بود. متغیرهای مستقل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن بود. همچنین متغیرهای وابسته (پاسخها) شامل دانسیته کف و اورران بودند. این طرح آزمایشی شامل سه سطح فاکتور کدبندی بود؛ سطح پایین هر فاکتور (1-) به عنوان کمینه، سطح میانی هر فاکتور با (0) و سطح بالای هر فاکتور به عنوان بیشینه و به صورت (+1) مشخص شد. محدوده آزمایش‌ها بر پایه نتایج به دست آمده از پیش تیمارها انتخاب شد که براساس جدول (1) مقادیر صمغ زانتان (0/0-1/4 درصد)، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (2-8 درصد) و زمان هم‌زدن (WT^{11}) (2-8 دقیقه) تعیین گردید.

⁶ Penetration test

⁷ Hardness

⁸ Adhesiveness force

⁹ Consistency

¹⁰ Face-centered central composite design

¹¹ Whipping time

¹ DIN 53019 coaxial cylinders- 30 mm diameter

² Herschel bulkley

³ Power law

⁴ Root mean square error

⁵ Matlab

تجزیه و تحلیل واریانس، مدل چندجمله‌ای درجه دوم به‌عنوان بهترین مدل برای بررسی اثر متغیرهای مستقل، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (2-8 درصد)، غلظت صمغ زانتان (0/4-0/1 درصد) و زمان هم‌زدن (2-8 دقیقه) بر خصوصیات دانسیته و اورران پیشنهاد گردید. خلاصه نتایج تجزیه مدل‌ها جهت انتخاب مناسب‌ترین مدل برای پاسخ‌های اندازه‌گیری شده در **جدول (3)** آورده شده است. با توجه به نتایج **جدول (3)** که عدم معنی‌داری آزمون ضعف برازش¹ در مدل چندجمله‌ای پیشنهادی برای پاسخ‌ها و نیز **جدول (4)** که بالا بودن مقدار ضریب تعیین R^2 ، $R^2_{adjusted}$ و $R^2_{predicted}$ را نشان می‌دهد، می‌توان بیان کرد که این مدل قدرت بالایی در برازش داده‌های آزمون دارد.

جدول 1- سطوح متغیرهای مستقل

متغیرهای مستقل	نماد	کد و سطوح مربوطه		
		-1	0	+1
کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (درصد)	X ₁	2	5	8
صمغ زانتان (درصد)	X ₂	0/1	0/25	0/4
زمان هم‌زدن (دقیقه)	X ₃	2	5	8

نتایج و بحث**تجزیه و تحلیل داده‌های مربوط به کف**

نتایج به‌دست‌آمده از طرح آزمایشی مورداستفاده به‌منظور بهینه‌سازی شرایط تولید کف دسر هوادار وانیلی در **جدول (2)** ارائه شده است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از

جدول 2- نتایج طرح آزمایشی مورداستفاده به‌منظور بهینه‌سازی شرایط تولید کف دسر هوادار

ردیف	متغیرهای مستقل				متغیرهای وابسته
	کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (درصد)	صمغ زانتان (درصد)	زمان هم‌زدن (دقیقه)	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	
1	5 (0)	0/25 (0)	5 (0)	0/0±586/01	2±84/0
2	5 (0)	0/25 (0)	5 (0)	0/0±594/02	2±82/5
3	2 (-1)	0/4 (+1)	2 (-1)	0/0±741/02	3±41/5
4	5 (0)	0/25 (0)	5 (0)	0/0±576/01	2±85/5
5	2 (-1)	0/25 (0)	5 (0)	0/0±673/04	3±62/0
6	5 (0)	0/25 (0)	5 (0)	0/0±584/02	2±84/6
7	5 (0)	0/4 (+1)	5 (0)	0/0±597/02	35±82
8	2 (-1)	0/1 (-1)	2 (-1)	0/0±762/02	1±32/5
9	5 (0)	0/25 (0)	8 (+1)	0/0±554/02	1±89/0
10	5 (0)	0/1 (-1)	5 (0)	0/0±543/03	2±87/5
11	8 (+1)	0/1 (-1)	8 (+1)	0/0±469/3	3±116/0
12	5 (0)	0/25 (0)	5 (0)	0/0±594/04	4±114/5
13	8 (+1)	0/25 (0)	5 (0)	0/0±481/03	3±114/0
14	5 (0)	0/25 (0)	5 (0)	0/0±574/04	2±82/5
15	8 (+1)	0/4 (+1)	2 (-1)	0/0±525/03	4±98/5
16	8 (+1)	0/1 (-1)	2 (-1)	0/0±622/04	2±75/0
17	2 (-1)	0/1 (-1)	2 (-1)	0/0±553/04	4±85/7
18	5 (0)	0/25 (0)	2 (-1)	0/0±682/01	5±60/0
19	8 (+1)	0/4 (+1)	8 (+1)	0/0±457/02	2±121/0
20	2 (-1)	0/4 (+1)	8 (+1)	0/0±697/02	1±48/5

* میانگین ± انحراف معیار

¹ Lack of fit test

جدول 3- خلاصه نتایج تجزیه مدل‌ها به منظور انتخاب مدل مناسب برای پاسخ‌های اندازه‌گیری شده

اورران (درصد)		دانسیتة کف (گرم بر سانتی‌مترمکعب)						درجه آزادی	منبع
احتمال	اندیس F	میانگین مربعات	مجموع مربعات	احتمال F	اندیس F	میانگین مربعات	مجموع مربعات		
-	-	$1/299 \times 10^5$	$1/299 \times 10^5$	-	-	7/04	7/04	1	میانگین
<0/0001	37/13	3001/13	9003/40	<0/0001	34/19	0/051	0/15	3	خطی
0/0010	10/13	302	906	0/0010	10/28	$5/633 \times 3^{-10}$	0/017	3	2FI
<0/0001	77/19	123/79	371/36	<0/0001	29/74	$2/136 \times 3^{-10}$	$6/407 \times 3^{-10}$	3	چندجمله‌ای
0/7805	0/43	0/90	3/60	0/6405	0/66	$5/500 \times 5^{-10}$	$2/200 \times 4^{-10}$	4	مکعبی
-	-	2/07	12/44	-	-	$8/303 \times 5^{-10}$	$4/982 \times 4^{-10}$	6	باقی‌مانده
-	-	7011/20	$1/402 \times 5^{-10}$	-	-	0/36	7/22	20	کل
<0/0001	62/54	116/73	1284/07	0/0010	26/85	$2/148 \times 2^{-10}$	0/024	11	خطی
0/0012	25/33	47/26	378/07	0/0095	10/51	$8/406 \times 4^{-10}$	$6/725 \times 3^{-10}$	8	2FI
0/6374	0/72	1/34	6/70	0/5961	0/80	$6/314 \times 5^{-10}$	$3/182 \times 4^{-10}$	5	چندجمله‌ای
0/2537	1/66	3/10	3/10	0/3184	1/23	$9/818 \times 5^{-10}$	9818×5^{-10}	1	مکعب
-	-	1/87	9/33	-	-	8×5^{-10}	4×4^{-10}	5	خطا

جدول 4- نتایج آماری مدل چندجمله‌ای درجه دوم بر داده‌های پاسخ

R ² predicted	R ² adjusted	R ²	ضریب تغییرات	انحراف معیار	میانگین	پاسخ
0/9908	0/9923	0/9960	1/43	8/47	0/59	دانسیتة
0/9949	0/9970	0/9984	1/57	1/27	80/60	اورران

جدول 5- نتایج آنالیز واریانس برای اندازه‌گیری مقدار دانسیتة کف دسر هوادار

احتمال F	اندیس F	درجه آزادی	مجموع مربعات	مدل
<0/0001**	274/36	9	0/18	مدل
<0/0001**	1420/39	1	0/10	X ₁
<0/0001**	61/41	1	$4/410 \times 3^{-10}$	X ₂
<0/0001**	662/92	1	0/048	X ₃
<0/0001**	156/65	1	0/011	X ₁ X ₂
<0/0002**	34/11	1	$2/450 \times 10^{-3}$	X ₁ X ₃
<0/0001**	44/56	1	$3/200 \times 10^{-3}$	X ₂ X ₃
0/09309*	$7/911 \times 10^{-3}$	1	$5/862 \times 10^{-7}$	X ₁ ²
0/0913*	3/49	1	$2/506 \times 10^{-4}$	X ₂ ²
<0/0001**	62/67	1	$4/501 \times 10^{-3}$	X ₃ ²
0/5961 ^{ns}	0/80	5	$3/182 \times 10^{-4}$	ضعف برازش
-	-	5	4×10^{-4}	خطا

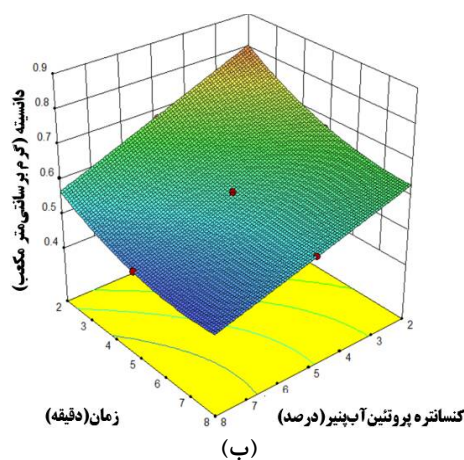
** معنی‌داری در سطح 99 درصد، * معنی‌داری در سطح 95 درصد، ^{ns} عدم معنی‌داری در سطح 95 درصد

تأثیر متغیرهای مستقل بر پاسخ‌ها دانسیتة کف

نتایج ارائه‌شده در جدول (5) نشان می‌دهد صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن به‌صورت خطی اثر معنی‌داری بر دانسیتة کف داشتند ($P < 0/01$). همچنین اثر متقابل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زانتان،

اثر متقابل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن، اثر متقابل زانتان و زمان هم‌زدن ($P < 0/01$) معنی‌دار بود. اثر درجه دوم کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان ($P < 0/05$) و زمان هم‌زدن ($P < 0/01$) نیز معنی‌دار بود. یکی از پارامترهای مهم در سیستم‌های کفی مقدار دانسیتة است. مقدار بالای هوای محبوس‌شده طی هم‌زدن

(1982). با توجه به شکل (1-ب) مشاهده می‌شود افزایش میزان صمغ زانتان اثر نامطلوبی بر انبساط کف داشت و باعث افزایش دانسیته کف شد. هنگامی که صمغ زانتان به یک مایع اضافه می‌شود، سبب افزایش ویسکوزیته آن می‌گردد که این امر مانع از ورود هوا به داخل مایع شده، در نتیجه میزان هوای محبوس شده در مخلوط کاهش و دانسیته کف افزایش می‌یابد (Bikerman, 2013). مشابه این نتایج توسط Mishra و Srivastav (2011) و Emam-Djomeh و Mousavi, Madadlou, Goudarzi (2015) به ترتیب برای تولید کف پالپ میوه بادل² و طالبی گزارش شده است. مطابق شکل (1-ب)، افزایش زمان هم‌زدن سبب کاهش دانسیته کف شد. با افزایش زمان هم‌زدن، دانسیته نمونه‌ها به علت ورود هوای بیشتر به درون سیستم‌های کف و به دام افتادن درون سیستم به صورت حباب کاهش پیدا می‌کند. همچنین افزایش زمان هم‌زدن به دلیل افزایش میزان دناتوراسیون پروتئین‌ها و کاهش کشش سطحی و افزایش احتمالی گروه‌های آب‌دوست در سطح می‌تواند سبب کاهش دانسیته کف شود (Raharitsifa, Genovese, & Ratti, 2006). نتایج مشابه‌ای نیز توسط Falade و Omojola (2010) و Sankat و Castaigne (2004) به ترتیب درباره اثر آلومین تخم‌مرغ بر کاهش دانسیته کف موز سبز، موز و لوبیای چشم‌بلبلی گزارش شده است. مطابق جدول (3) مقدار دانسیته نمونه‌های کف دسر هوادار بین 0/46-0/84 گرم بر سانتی‌متر مکعب بود.



منجر به انبساط کف می‌شود که نشان‌دهنده قابلیت کف‌زایی است. دانسیته کف معمولاً برای ارزیابی خصوصیات کف استفاده می‌شود. هرچه هوای بیشتری به داخل مایع وارد شود، دانسیته کف کاهش پیدا می‌کند (Barik & Roy, 2009; Falade & Omojola, 2010).

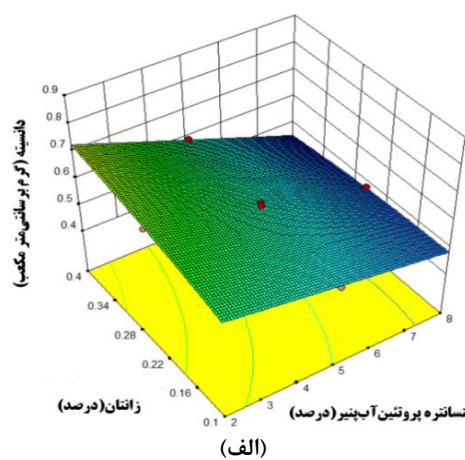
با قراردادن مدل چندجمله‌ای درجه دوم در معرض الگوریتم حذف پس‌خور¹، مدل تجربی نهایی در قالب فاکتورهای کدگذاری شده اثر معنی‌داری روی دانسیته کف داشتند که به صورت رابطه (4) ارائه شد:

رابطه (4)

$$=0/0-58/10X_1+0/21X_2-0/069X_3-0/037X_1X_2+0/018X_1X_3+0/20 X_2X_3+0/040X_3^2+4/54X_3^2-9/54X_3$$

در رابطه (4)، X_1 کنسانتره پروتئین آب پنیر (درصد)، X_2 غلظت صمغ زانتان (درصد) و X_3 زمان هم‌زدن (دقیقه) است.

شکل (1) تغییرات دانسیته کف با میزان صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب پنیر و زمان هم‌زدن را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (1-الف) مشاهده می‌شود، با افزایش کنسانتره پروتئین آب پنیر از 2 به 8 درصد مقدار دانسیته کف به طور معنی‌داری کاهش پیدا کرده است. توانایی ایجاد کف تحت تأثیر اندازه مولکولی و ساختار پروتئین است. پروتئین‌های کوچک و انعطاف‌پذیر مانند پروتئین‌های آب پنیر قابلیت کف‌زایی بیشتری دارند که سریع‌تر و آسان‌تر کشش بین سطحی را کاهش می‌دهند و سبب کاهش دانسیته می‌شوند (Dickinson & Stainsby, 2002).



شکل 1- سطح پاسخ دانسیته کف، الف) تأثیر کنسانتره پروتئین آب پنیر و صمغ زانتان و ب) تأثیر کنسانتره پروتئین آب پنیر و زمان هم‌زدن

² Bael fruit

¹ Backward

اورران

نتایج جدول (6) نشان می‌دهد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، غلظت صمغ زانتان و زمان هم‌زدن اثر معنی‌داری و خطی بر میزان اورران دسر هوادار دارد ($P < 0/01$). همچنین اثر متقابل کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زانتان، اثر متقابل زانتان و زمان هم‌زدن معنی‌دار بود ($P < 0/01$). اثر درجه دوم کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن نیز بر میزان اورران معنی‌دار بود ($P < 0/01$). اورران، افزایش حجم دسر هوادار نسبت به حجم مخلوط اولیه به دلیل ورود هوا در جریان فرایند هم‌زدن است. مقدار هوایی که وارد مخلوط می‌شود، تابع ترکیب مخلوط و چگونگی فرایند تولید می‌باشد. نوع و غلظت اجزای مخلوط، مقدار کل مواد جامد، ویسکوزیته مخلوط، زمان هم‌زدن و خصوصیات فریزر از عوامل مؤثر بر درصد اورران می‌باشد (Ohmes et al., 1998).

جدول 6- نتایج آنالیز واریانس برای اندازه‌گیری مقدار اورران کف دسر هوادار

مدل	مجموع مربعات	درجه آزادی	اندیس F	احتمال F
مدل	1028/76	9	712/32	<0/0001**
X ₁	6553/60	1	4081/71	<0/0001**
X ₂	108/90	1	67/91	<0/0001**
X ₃	2304/90	1	1459/74	<0/0001**
X ₁ X ₂	512	1	319/27	<0/0001**
X ₁ X ₃	2/00	1	1/25	0/2902
X ₂ X ₃	392/00	1	244/44	<0/0001**
X ₁ ²	31/11	1	19/40	<0/0001**
X ₂ ²	0/051	1	0/032	0/8618
X ₃ ²	282/55	1	176/19	<0/0001**
ضعف	6/70	5	0/72	0/6374 ^{ns}
برازش				
خطا	9/33	5	-	-

** : معنی‌داری در سطح 99 درصد، * : معنی‌داری در سطح 95 درصد،
^{ns} : عدم معنی‌داری در سطح 95 درصد

با قراردادن مدل چندجمله‌ای درجه دوم در معرض الگوریتم حذف پس‌خور، مدل تجربی نهایی در قالب فاکتورهای کدگذاری شده که اثر معنی‌داری روی اورران کف داشتند، به صورت رابطه (5) ارائه شد:

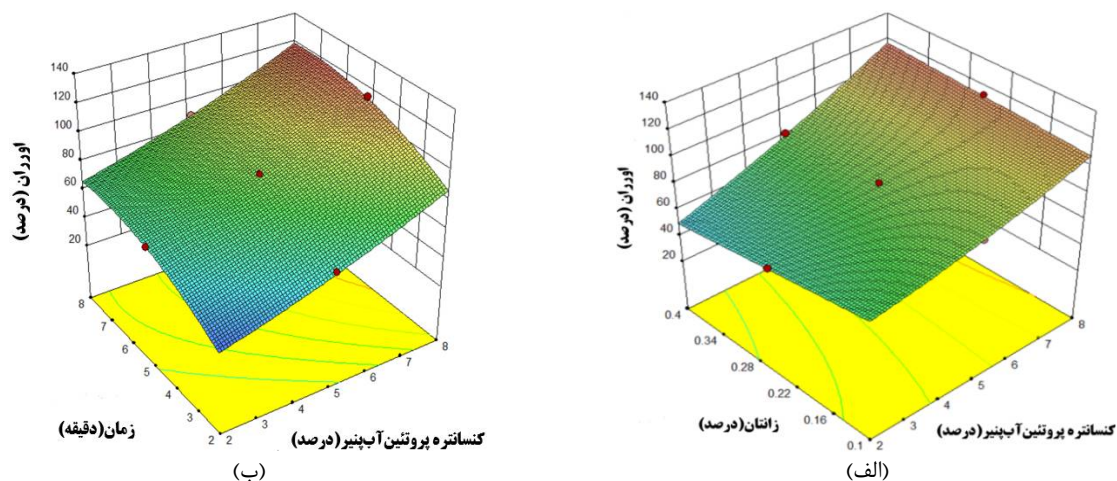
رابطه (5)

$$\text{اورران کف} = 84/25 + 05/6X_3 - 1/30X_1 + 2/30X_8 + 3/00X_1X_7 - 002X_2X_3 + 3/36X_1X_2 - 2/14X_3^2$$

در رابطه (5)، X₁ کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (درصد)، X₂ غلظت صمغ زانتان (درصد) و X₃ زمان هم‌زدن (دقیقه) است.

تغییر اورران کف با میزان صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن به صورت سه‌بعدی در شکل (2) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (2-الف) مشاهده می‌شود، با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر از 2 به 8 درصد مقدار اورران به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرده است ($P < 0/01$). Zayas (1997) بیان کرد بیشینه اورران کف دسر هوادار در غلظت پروتئین (2-8 درصد) در نتیجه افزایش ویسکوزیته فاز مایع و ضخامت فیلم جذب‌شده به دست می‌آید. در غلظت‌های بالای پروتئین، جذب سطحی سریع اتفاق می‌افتد که منجر به عبور حباب از میان محلول پروتئین می‌شود؛ در نهایت به دلیل افزایش ویسکوزیته فاز مایع، ماده کف‌کننده با لایه سطحی ضخیم‌تر، متراکم‌تر و پایدارتر تشکیل می‌شود. همان‌طور که در شکل (2-ب) مشاهده می‌شود، افزایش مقدار صمغ زانتان نقش مهمی در کاهش اورران دارد ($P < 0/01$). دلیل این کاهش را می‌توان به محبوس شدن مولکول‌های آب توسط صمغ و افزایش ویسکوزیته نسبت داد. Soukoulis, Lebesi و Tzia (2009) در بررسی تأثیر صمغ زانتان بر خواص کیفی بستنی مشاهده کردند افزایش سطوح این صمغ به دلیل افزایش ویسکوزیته باعث کاهش اورران می‌شود. Razavi, BahramParvar و Khodaparast (2010) در بررسی تأثیر صمغ‌های مختلف بر بستنی منجمد اعلام کردند افزودن صمغ گوار¹ به این محصول تا سطح 0/15 درصد باعث افزایش اورران شده است ولی در سطوح بالاتر به دلیل بیشتر شدن ویسکوزیته، اورران کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد افزایش زمان هم‌زدن باعث افزایش اورران می‌شود ($P < 0/01$). افزایش زمان هم‌زدن، باعث ورود هوای بیشتر به درون مایع سیستم‌های کف و افزایش اورران می‌شود. اورران دسر هوادار در دامنه 32-121 درصد بود.

¹ Guar gum



شکل 2- سطح پاسخ اورران الف) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان و ب) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن

تعیین شرایط بهینه تولید کف

براین اساس شرایط بهینه جهت تولید کف دسر هوادار با کمترین میزان دانسیته و بالاترین میزان اورران در غلظت صمغ زانتان 0/1 درصد (سطح پایین)، مقدار کنسانتره پروتئین آب‌پنیر 8 درصد (سطح بالا) و زمان هم‌زدن 8 دقیقه (سطح بالا) تعیین گردید. در این شرایط مقادیر دانسیته و اورران کف اندازه‌گیری شد که به ترتیب $120/84 \pm 2/0$ گرم بر سانتی‌مترمکعب و $0/0 \pm 45/02$ درصد بودند.

خصوصیات رئولوژیکی

بررسی رفتار جریان دسر هوادار نشان داد تمامی نمونه‌ها رفتار غیرنیوتنی از نوع شل‌شونده با برش (سودوپلاستیک) داشتند. با افزایش سرعت برشی مشاهده شد که ویسکوزیته به علت عدم درگیری زنجیره‌های ماکرومولکولی تحت اثر میدان برشی (هم‌راستاشدن با جهت برش)، کاهش اتصال زنجیره‌های جانبی پلیمر با یکدیگر و همچنین شکستن احتمالی ساختار پلیمرها در محلول کاهش پیدا کرد (Barik & Roy, 2009; Drenckhan & Langevin, 2010; Niranjana & Silva, 2008). ویسکوزیته علاوه بر نقشی که در فرمولاسیون دسر هوادار دارد، در انتخاب پمپ مناسب جهت انتقال و طراحی تجهیزات موردنیاز نیز کاربرد دارد. همچنین ویسکوزیته نقش مهمی در واکنش دسر هوادار با دهان و مقاومت دسر به نیروهای مکانیکی ایجادشده به وسیله زبان، کام و دندان‌ها، درک کلی و ارزیابی بافتی دسر هوادار دارد.

جدول (7) نتیجه برازش داده‌های رئولوژیکی را برای دو

مدل نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد از بین مدل‌های مورد مطالعه، مدل پاورلا برای توصیف رفتار جریان نمونه‌های دسر هوادار مناسب‌تر است زیرا پارامترهای آماری نشان داد که این مدل نسبت به مدل هرشل بالکی R^2 بالاتر (حدود 0/999) و RMSE پایین (0/01) دارا بود. وجود مقادیر منفی تنش تسلیم در برازش با مدل هرشل بالکی نشان داد که این مدل قادر به توصیف رفتار جریان نمونه‌ها نمی‌باشد. Razavi, Taghizadeh و Shaker Ardekani (2010) و Javidi و Razavi (2018) به ترتیب در نمونه‌های کره پسته کم‌کالری و بستنی رژیمی کم‌چرب این مدل را به دلیل وجود مقادیر منفی تنش تسلیم نامناسب ارزیابی کردند. نتایج جدول (7) نشان می‌دهد شاخص رفتار جریان (n) مدل قانون توان برای تمامی نمونه‌ها کمتر از 1 می‌باشد که نشان‌دهنده رفتار غیرنیوتنی شل‌شونده با برش دارای تنش تسلیم است ($n_p < 1$). بیشترین و کمترین شاخص رفتار جریان دسر هوادار به ترتیب مربوط به نمونه حاوی 2 درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، 0/1 درصد صمغ زانتان و 2 دقیقه زمان هم‌زدن (0/91) و 8 درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، 0/4 درصد صمغ زانتان و 2 دقیقه زمان هم‌زدن (0/10) بود. با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان شاخص رفتار جریان کاهش یافت. افزایش زمان هم‌زدن اثر مشخصی بر شاخص رفتار جریان دسر هوادار نداشت. Ryland و Malcolmson, Arntfield, Aime (2001) بررسی رفتار بستنی کم‌چرب و معمولی، مقدار این ویژگی را 0/433 تا 0/611 گزارش کردند. صمغ‌ها

مولکولی بالا در فاز مایع و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر جریان، مقدار ضریب قوام نمونه‌ها افزایش یافت. Varela, Pintor و Fiszman (2014) مشاهده کردند تمامی فرمولاسیون‌های حاوی پایدارکننده هیدروکلوئیدی نسبت به بدون پایدارکننده به وضوح دارای مقادیر بالاتری شاخص قوام بودند. Mehditabar, Razavi و Javidi (2020) بیان کردند افزودن هیدروکلوئیدها باعث بهبود خصوصیات رئولوژیکی می‌شود و ضریب قوام به دلیل تشکیل شبکه ژلی افزایش می‌یابد. Akalin و همکاران (2008) در بررسی اثر غلظت پروتئین آب‌پنیر بر ویژگی‌های رئولوژیکی بستنی مشاهده کردند که با افزایش میزان پروتئین آب‌پنیر به فرمولاسیون بستنی به ویسکوزیته و ضریب قوام افزایش یافت.

خود دارای رفتار شل‌شوندگی هستند، بنابراین با افزایش مولکول‌های بلندزنجیر آنها در سیستم، در رفتار جریان آمیخته انحراف بیشتری از حالت نیوتنی مشاهده شد. وجود رفتار شل‌شوندگی با برش در هیدروکلوئیدها باعث تسهیل در عملیات پمپ‌کردن و همچنین ایجاد بافت و احساس دهانی مطلوب در مواد غذایی می‌گردد. نتایج ضریب قوام مدل قانون توان (K_p) حاکی از آن است که بیشترین و کمترین ضریب قوام دسر هوادار به ترتیب مربوط به نمونه حاوی 8 درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، 0/4 درصد صمغ زانتان و 8 دقیقه زمان هم‌زدن (163/6 پاسکال در ثانیه) و 5 گرم کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، 0/25 درصد صمغ زانتان و 5 دقیقه زمان هم‌زدن (7/22 پاسکال در ثانیه) بود. بنابراین با افزایش درصد صمغ زانتان، کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن به دلیل افزایش تعداد مولکول‌های با وزن

جدول 7- خصوصیات رئولوژیکی نمونه‌های دسر هوادار

پاورلا				هرشل بالکی				
RMSE	R ²	$k_p(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n_p	RMSE	R ²	$k_H(\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n_H	$\tau_{0H}(\text{Pa})$
2/89	0/99	19/27±0/01	0/37 ±0/01	0/03	0/99	37/74±0/01	29/28±0/04	22/53 ±0/3
2/6	0/99	11/46±0/02	0/24 ±0/02	0/84	0/96	77/13±0/01	89/87±0/02	-22/6 ±0/2
11/1	0/84	20/61±0/02	0/11 ±0/01	0/35	0/98	8/37 ±0/01	2/48 ±0/03	42/11 ±0/4
35/81	0/88	11/76±0/01	0/56 ±0/02	0/15	0/97	23/11±0/02	0/14 ±0/01	98/11 ±0/2
2/7	0/99	7/66 ±0/01	0/44 ±0/01	0/03	0/99	22/79±0/01	0/61 ±0/02	11/54 ±0/3
0/29	0/72	43/11±0/02	0/81 ±0/04	0/34	0/99	49/69±0/02	0/12 ±0/01	-81/58±0/2
8/17	0/88	15/22±0/02	0/36 ±0/02	0/07	0/99	18/40±0/01	0/22 ±0/01	81/71 ±0/2
16/57	0/82	124/042±0/02	0/91 ±0/01	0/33	0/97	79/24±0/04	0/08 ±0/02	8/06 ±0/1
19/08	0/75	87/64±0/01	0/13 ±0/01	0/52	0/95	48/57±0/02	0/04 ±0/02	-4/79 ±0/3
16/57	0/85	89/42±0/03	0/34 ±0/03	0/19	0/98	0/03 ±0/01	0/035±0/03	75/35 ±0/3
1/50	0/99	9/24 ±0/01	0/36 ±0/02	0/03	0/99	11/12±0/02	0/071±0/02	17/68 ±0/2
36/8	0/82	44/9 ±0/01	0/43 ±0/01	0/48	0/96	76/28±0/03	0/15 ±0/01	-78/22±0/4
3/29	0/99	14/41±0/02	0/49 ±0/01	0/11	0/98	36/05±0/02	0/34 ±0/03	-39/59±0/1
14/23	0/62	19/27±0/01	0/28 ±0/01	0/48	0/96	75/71±0/03	0/08 ±0/01	-79/63±0/3
9/39	0/95	57/36±0/03	0/10 ±0/01	0/28	0/98	-0/03±0/01	0/37 ±0/02	-43/5 ±0/2
3/05	0/99	92/42±0/02	0/22 ±0/02	0/54	0/96	17/55±0/03	0/45 ±0/03	10/21 ±0/1
2/18	0/99	85/83±0/01	0/13 ±0/01	0/09	0/97	35/38±0/02	0/023±0/02	-38/42±0/1
9/48	0/96	19/06±0/03	0/38 ±0/03	0/21	0/99	0/02 ±0/02	0/93 ±0/01	2/43 ±0/0
23/98	0/83	163/06±0/01	0/42 ±0/01	0/05	0/99	0/07 ±0/01	0/61 ±0/02	-0/10 ±0/3
29/49	0/72	160/1±0/02	0/20 ±0/01	0/27	0/97	0/89 ±0/01	0/49 ±0/03	88/81 ±0/2

* میانگین ± انحراف معیار

خصوصیات بافتی

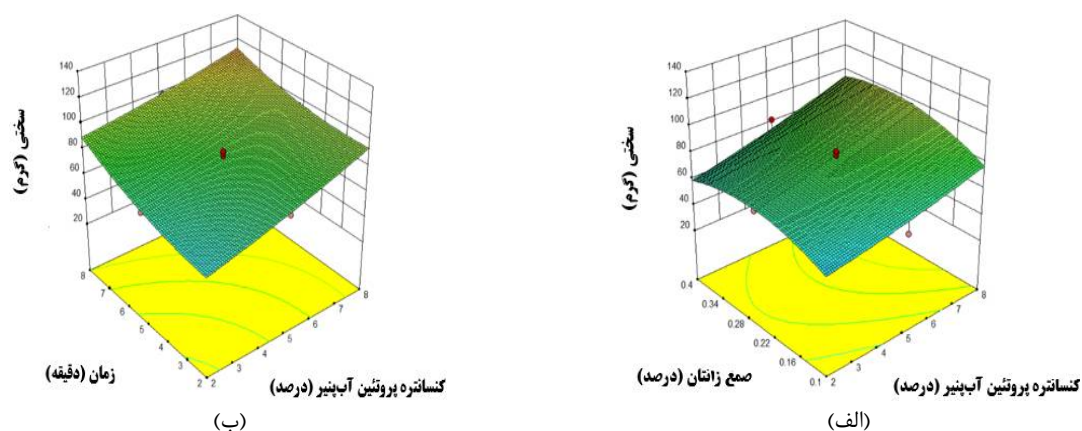
نتایج ارزیابی خصوصیات بافت دسر هوادار وانیلی در جدول (8) ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از آنالیز

واریانس، مدل چندجمله‌ای درجه دوم به عنوان بهترین مدل برای بررسی اثر متغیرهای مستقل بر خصوصیات سختی، نیروی چسبندگی و ضریب قوام پیشنهاد گردید.

جدول 8- ویژگی‌های بافتی دسر هوادهی شده با سطوح مختلفی از کنسانتره پروتئین آب‌پنیر (8-2 درصد)، غلظت صمغ زانتان (0/1-0/4 درصد) و زمان هم‌زدن (8-2 دقیقه)

کد نمونه	سختی (گرم)	نیروی چسبندگی (گرم)	ضریب قوام (گرم در ثانیه)
1	80/0±37/01	0/0±41/02	0/0±31/01
2	84/0±21/02	0/0±39/01	0/0±29/02
3	58/0±31/03	0/0±28/01	0/0±36/01
4	85/0±22/01	0/0±42/02	0/0±31/01
5	67/0±07/01	0/0±28/02	0/0±33/03
6	82/0±19/02	0/0±36/01	0/0±34/01
7	82/0±28/03	0/0±43/02	0/0±38/02
8	34/0±75/02	0/0±21/01	0/0±22/02
9	98/0±82/01	0/0±76/02	0/0±47/01
10	53/0±87/01	0/0±24/02	0/0±35/01
11	77/0±18/03	0/0±82/01	0/0±46/03
12	80/0±55/01	0/0±41/03	0/0±31/01
13	95/0±89/02	0/0±75/01	0/0±49/02
14	80/0±36/02	0/0±34/01	0/0±29/02
15	72/0±18/01	0/0±57/02	0/0±46/01
16	94/0±81/04	0/0±55/01	0/0±41/02
17	64/0±37/01	0/0±23/02	0/0±34/01
18	72/0±15/03	0/0±45/01	0/0±39/01
19	127/0±02/02	0/0±99/01	0/0±52/02
20	92/0±84/01	0/0±32/02	0/0±42/01

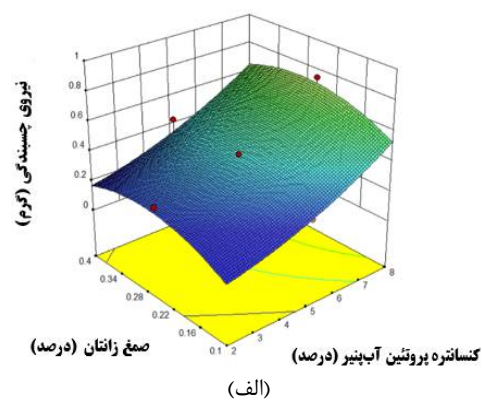
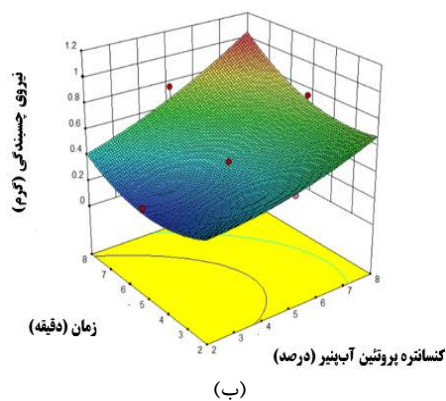
* میانگین ± انحراف معیار



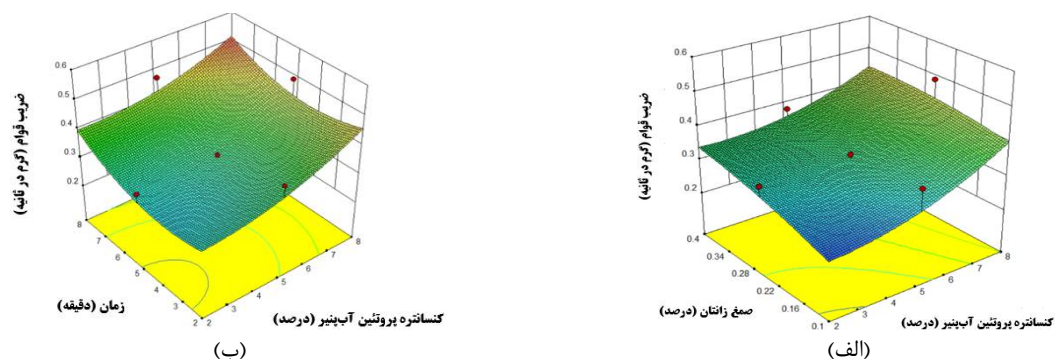
دادند که افزودن پایدارکننده‌ها به مخلوط بستنی، منجر به افزایش ویسکوزیته، کاهش اورران و به دنبال آن منجر به افزایش سختی بستنی شد.

همان‌طور که در شکل (4) مشخص است، با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن نیروی چسبندگی افزایش یافت ($P < 0/01$). با توجه به نتایج جدول (8)، بیشترین و کمترین نیروی چسبندگی دسر هوادار به ترتیب مربوط به نمونه حاوی 8 درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، 0/4 درصد صمغ زانتان و 8 دقیقه زمان هم‌زدن (0/99 گرم) و نمونه حاوی 2 درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، 0/1 درصد صمغ زانتان و 2 دقیقه زمان هم‌زدن (0/21 گرم) بود. چسبندگی بیشترین نیروی منفی در منحنی نیرو و زمان در مرحله باربرداری می‌باشد و بیانگر مقدار نیروی مورد نیاز برای جدا کردن سطح ماده غذایی از سطوح دیگر و یا مواد غذایی درباره زبان، دندان و کام است Liu و همکاران (2007)، صمغ زانتان به دلیل افزایش جذب آب و تشکیل ساختار ژلی باعث افزایش چسبندگی می‌شود. Kusio و همکاران (2020) در بررسی اثر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر بر خصوصیات بافتی دسر لبنی کم‌چرب مشاهده کردند که با افزایش پروتئین میزان چسبندگی دسر لبنی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. Javidi و همکاران (2016) با افزودن صمغ گوار و صمغ دانه ریحان، افزایش معنی‌داری در میزان چسبندگی بافت نمونه‌های بستنی مشاهده کردند.

همان‌طور که در شکل (3) مشاهده می‌شود، با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، میزان صمغ زانتان و زمان هم‌زدن، میزان سختی افزایش یافت ($P < 0/01$). با توجه به نتایج جدول (8)، بیشترین و کمترین سختی دسر هوادار به ترتیب مربوط به نمونه حاوی 8 درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، 0/4 درصد صمغ زانتان و 8 دقیقه زمان هم‌زدن (127/07 گرم) و نمونه حاوی 2 درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، 0/1 درصد صمغ زانتان و 2 دقیقه زمان هم‌زدن (34/75 گرم) نسبت داده شد. بنابراین با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، میزان صمغ زانتان و زمان هم‌زدن، سختی افزایش یافت ($P < 0/01$). به این ترتیب که با افزایش پروتئین، درصد صمغ و زمان هم‌زدن، مقدار ویسکوزیته افزایش و در نهایت مقاومت نمونه‌ها نسبت به نفوذ پروب دستگاه بافت‌سنج افزایش پیدا کرد. سختی بیانگر مقاومتی است که یک ماده به تغییر شکل معین در برابر نیروی خارجی از خود نشان می‌دهد. سختی دسر یک ویژگی بسیار مهم می‌باشد زیرا به‌صورت مستقیم بر قاشق‌پذیری آن مؤثر است. سختی تحت تأثیر عواملی مانند نقطه انجماد اولیه، مواد جامد، اورران، میزان و نوع پایدارکننده‌ها قرار می‌گیرد (Muse & Hartel, 2004). بر اساس گزارش‌های Muse و Hartel (2004) و Akalin و همکاران (2008) افزایش پروتئین و صمغ، باعث افزایش ویسکوزیته و ضریب قوام و به دنبال آن سبب افزایش سختی بستنی شد. همچنین Goff و همکاران (1995)، در این خصوص نشان



شکل 4- سطح پاسخ نیروی چسبندگی الف) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان و ب) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن



شکل 5- سطح پاسخ ضریب قوام (الف) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان و (ب) تأثیر کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و زمان هم‌زدن

ضریب قوام دسر هوادار شد. همچنین با افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن سختی، نیروی چسبندگی و ضریب قوام افزایش یافت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد استفاده از کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان باعث بهبود خصوصیات فیزیکوشیمیایی دسر هوادار می‌شود. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق می‌تواند باعث افزایش قدرت انتخاب مصرف‌کننده‌ها و سودآوری تولیدکننده شده و کمک مؤثری در رشد اقتصاد صنعتی داشته باشد.

مشارکت نویسندگان

سارا پارسه: ارائه ایده پژوهشی و طراحی مطالعه، جمع‌آوری داده، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، نوشتن پیش‌نویس مقاله و آنالیز داده‌ها؛ محبت محبی: ارائه ایده پژوهشی و طراحی مطالعه، تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، بازبینی و اصلاح مقاله، آنالیز داده‌ها، نظارت بر مطالعه و تأیید نسخه نهایی؛ تکتم محمدی‌مقدم: تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، بازبینی و اصلاح مقاله، آنالیز داده‌ها، نظارت بر مطالعه و تأیید نسخه نهایی؛ حسن صباغی: تجزیه و تحلیل و تفسیر داده‌ها، بازبینی و اصلاح مقاله و آنالیز داده‌ها.

تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

همان‌طور که از شکل (5) مشخص است، افزایش میزان کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، صمغ زانتان و زمان هم‌زدن موجب افزایش ضریب قوام دسر هوادار شده است. باتوجه به نتایج جدول (8)، بیشترین و کمترین ضریب قوام دسر هوادار به ترتیب مربوط به نمونه حاوی 8 درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، 0/4 درصد صمغ زانتان و 8 دقیقه زمان هم‌زدن (0/52 گرم در ثانیه) و نمونه حاوی 2 درصد کنسانتره پروتئین آب‌پنیر، 0/1 درصد صمغ زانتان و 2 دقیقه زمان هم‌زدن (0/22 گرم در ثانیه) بود. ضریب قوام کار لازم برای رسیدن به یک تغییر شکل مشخص است (Akalin et al., 2008). Yeganehzad و Dabestani (2019) با بررسی اثر صمغ زانتان بر خواص کف سفیده تخم‌مرغ مشاهده کردند که صمغ زانتان به دلیل توانایی بسیار زیاد در برقراری پیوندهای هیدروژنی با آب و تشکیل ساختار ژلی باعث افزایش سختی نمونه و ضریب قوام کف سفیده تخم‌مرغ شد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش از روش سطح پاسخ جهت بهینه‌سازی شرایط تولید دسر هوادار استفاده شد. براین اساس، شرایط بهینه فرمولاسیون، غلظت صمغ زانتان 0/1 درصد، مقدار کنسانتره پروتئین آب‌پنیر 8 درصد و زمان هم‌زدن 8 دقیقه به‌دست‌آمد. در تمام نمونه‌های دسر هوادار، رفتار سودوپلاستیک مشاهده شد و مدل پاورلا به‌عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. افزایش کنسانتره پروتئین آب‌پنیر و صمغ زانتان باعث کاهش شاخص رفتار جریان و افزایش

منابع

- Aime, D. B., Arntfield, S. D., Malcolmson, L. J., & Ryland, D. (2001). Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. *Food research international*, 34(2), 237-246. doi:[https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00160-5](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00160-5)
- Akalın, A. S., Karagözlü, C & „Ünal, G. (2008). Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. *European Food Research and Technology*, 227(3), 889-895. doi:<https://doi.org/10.1007/s00217-007-0800-z>
- Alfaro Mohr, T. A. (2008). *Effect of concentration and ph on fracture properties of aerated and non aerated whey protein gels*. (Master's thesis), Pontificia Universidad Católica de Chile. Escuela de Ingeniería, Retrieved from <https://repositorio.uc.cl/xmlui/handle/11534/1442?show=full>
- 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. doi:<https://doi.org/10.1007/s11947-009-0243-6>
- BahramParvar, M „Razavi, S. M., & Khodaparast, M. H. (2010). Rheological characterization and sensory evaluation of a typical soft ice cream made with selected food hydrocolloids. *Food Science and Technology International*, 16(1), 79-88. doi:<https://doi.org/10.1177/1082013209353244>
- Barik, T. K., & Roy, A. (2009). Statistical distribution of bubble size in wet foam. *Chemical engineering science*, 64(9), 2039-2043. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ces.2009.01.039>
- Bikerman, J. J. (2013). *Foams* (Vol. 10): Springer Science & Business Media.
- Dabestani, M., & Yeganehzad, S. (2019). Effect of Persian gum and Xanthan gum on foaming properties and stability of pasteurized fresh egg white foam. *Food Hydrocolloids*, 87, 550-560. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.030>
- Dickinson, E., & Stainsby, G. (1982). *Colloids in food*: Applied Science Publishers.
- Drenckhan, W., & Langevin, D. (2010). Monodisperse foams in one to three dimensions. *Current opinion in colloid & interface science*, 15(5), 341-358. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cocis.2010.06.002>
- Emadzadeh, B., Razavi, S. M. A., Hashemi, M., Nassiri Mahallati, M., & Farhoosh, R. (2011). Optimization of Fat Replacers and Sweetener Levels to Formulate Reduced- Calorie Pistachio Butter: A Response Surface Methodology. *Journal of Nuts*, 02(04), 37-54. doi:<https://doi.org/10.22034/jon.2011.515737>
- Falade, K. O., & Omojola, B. S. (2010). Effect of Processing Methods on Physical, Chemical, Rheological, and Sensory Properties of Okra (*Abelmoschus esculentus*). *Food and Bioprocess Technology*, 3(3), 387-394. doi:<https://doi.org/10.1007/s11947-008-0126-2>
- Goff, h. D., Freslon, b., Sahagian, m. E., Hauber, t. D., Stone, a. P., & Stanley, d. W. (1995). Structural development in ice cream—dynamic rheological measurements. *Journal of Texture Studies*, 26(5), 517-536. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.1995.tb00801.x>
- Goudarzi, M., Madadlou, A., Mousavi, M. E., & Emam-Djomeh, Z. (2015). Formulation of apple juice beverages containing whey protein isolate or whey protein hydrolysate based on sensory and physicochemical analysis. *International Journal of Dairy Technology*, 68(1), 70-78. doi:<https://doi.org/10.1111/1471-0307.12155>
- Javidi, F., & Razavi, S. M. A. (2018). Rheological, physical and sensory characteristics of light ice cream as affected by selected fat replacers. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 12(3), 1872-1884. doi:<https://doi.org/10.1007/s11694-018-9801-9>
- Javidi, F., Razavi, S. M. A., Behrouzian, F., & Alghooneh, A. (2016). The influence of basil seed gum, guar gum and their blend on the rheological, physical and sensory properties of low fat ice cream. *Food Hydrocolloids*, 52, 625-633. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.006>
- Kumar, A., Rao, K. M., & Han, S. S. (2018). Application of xanthan gum as polysaccharide in tissue engineering: A review. *Carbohydrate Polymers*, 180, 128-144. doi:<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.10.009>
- Kurbanoglu, E. B., & Kurbanoglu, N. I. (2007). Ram horn hydrolysate as enhancer of xanthan production in batch culture of *Xanthomonas campestris* EBK-4 isolate. *Process Biochemistry*, 42(7), 1146-1149. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.04.010>
- Kusio, K., Szafrńska, J. O., Radzki, W., & Sołowiej, B. G. (2020). Effect of Whey Protein Concentrate on Physicochemical, Sensory and Antioxidative Properties of High-Protein Fat-Free Dairy Desserts. *Applied Sciences*, 10(20), 7064. doi:<https://doi.org/10.3390/app10207064>

- Liu, H., Xu, X. M., & Guo, S. D. (2007). Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. *LWT - Food Science and Technology*, 40(6), 946-954. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2006.11.007>
- Mehditabar, H., Razavi, S. M. A., & Javidi, F. (2020). Influence of pumpkin puree and guar gum on the bioactive, rheological, thermal and sensory properties of ice cream. *International Journal of Dairy Technology*, 73(2), 447-458. doi:<https://doi.org/10.1111/1471-0307.12658>
- Mirarab Razi, S. (2014). *Effect of Sodium Caseinate, Whey Protein Isolate, Albumin and Gelatin on Sensory and Physicochemical Properties of Chocolate Mousse*. (Unpublished master's thesis), Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, (in Persian)
- Muthukumar, A., Ratti, C., & Raghavan, V. G. S. (2008). Foam-Mat Freeze Drying of Egg White and Mathematical Modeling Part I Optimization of Egg White Foam Stability. *Drying Technology*, 26(4), 508-512. doi:<https://doi.org/10.1080/07373930801929581>
- Nicorescu, I., Vial, C., Talansier, E., Lechevalier, V., Loisel, C., Della Valle, D., . . . Legrand, J. (2011). Comparative effect of thermal treatment on the physicochemical properties of whey and egg white protein foams. *Food Hydrocolloids*, 25(4), 797-808. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2010.09.020>
- Niranjan, K., & Silva, S. F. J. (2008). Bubble-Containing Foods. In J. M. Aguilera & P. J. Lillford (Eds.), *Food Materials Science: Principles and Practice* (pp. 281-303). New York, NY: Springer New York.
- O'Chiu, E., & Vardhanabhuti, B. (2017). Utilizing whey protein isolate and polysaccharide complexes to stabilize aerated dairy gels. *Journal of Dairy Science*, 100(5), 3404-3412. doi:<https://doi.org/10.3168/jds.2016-12053>
- Ohmes, R. L., Marshall, R. T., & Heymann, H. (1998). Sensory and Physical Properties of Ice Creams Containing Milk Fat or Fat Replacers. *Journal of Dairy Science*, 81(5), 1222-1228. doi:[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(98\)75682-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(98)75682-6)
- Papalamprou, E. M., Makri, E. A., Kiosseoglou, V. D., & 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. doi:<https://doi.org/10.1002/jsfa.2159>
- Perez, O., Martinez, K., Carrera Sanchez, C., & Patino, J. (2017). Strategy for Foaming Improvement of Whey Protein Concentrates by Addition of Hydroxypropylmethylcellulose and Heating: Relation with Interfacial Properties. *Nutr. Food Technol. Open Access*, 3(2). doi:<http://dx.doi.org/10.16966/2470-6086.141>
- 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), E142-E151. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.tb15627.x>
- Rao, M. A. (2010). *Rheology of fluid and semisolid foods: principles and applications*: Springer Science & Business Media.
- Razavi, S. M. A., Taghizadeh, M., & Shaker Ardekani, A. (2010). Modeling the Time-Dependent Rheological Properties of Pistachio Butter. *Journal of Nuts*, 01(01), 38-45. doi:<https://doi.org/10.22034/jon.2010.515765>
- Salahi, M. R., Mohebbi, M., & Taghizadeh, M. (2015). Foam-Mat Drying of Cantaloupe (Cucumis melo): Optimization of Foaming Parameters and Investigating Drying Characteristics. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 1798-1808. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.12414>
- Sankat, C. K., & Castaigne, F. (2004). Foaming and drying behaviour of ripe bananas. *LWT - Food Science and Technology*, 37(5), 517-525. doi:[https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(03\)00132-4](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(03)00132-4)
- Soukoulis, C., Lebesi, D., & Tzia, C. (2009). Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. *Food Chemistry*, 115(2), 665-671. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.12.070>
- Varela, P., Pintor, A., & Fiszman, S. (2014). How hydrocolloids affect the temporal oral perception of ice cream. *Food Hydrocolloids*, 36, 220-228. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.10.005>
- Zayas, J. F. (1997). Solubility of Proteins. In *Functionality of Proteins in Food* (pp. 6-75). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Zimbru, R.-O., Pădureț, S., & Amariei, S. (2020). Aerated confectionery: Physico-chemical and textural evaluation. *Journal of Faculty of Food Engineering*, 19(2), 122-130.

Optimization of Formulation for Aerated Dessert Containing Whey Protein and Xanthan Gum Concentrate using Response Surface Methodology and Investigation on Rheological and Texture Properties

Sara Parseh¹, Mohebbat Mohebbi^{1*}, Toktam Mohammadi-Moghaddam², Hassan Sabbaghi¹

1- Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

* Corresponding author (m-mohebbi@um.ac.ir)

2- Department of Food Sciences and Technology, Neyshabur University of Medical Sciences, Neyshabur, Iran

Abstract

Aerated dessert is a type of dessert based on the foam system, in which the presence of air in these desserts changes the rheological, sensory, and appearance characteristics. The aim of this study was optimization of aerated dessert using response surface methodology (RSM) and evaluate its rheological properties as a function of whey protein concentrate (2, 5 and 8%), xanthan gum (0.1, 0.25 and 0.4%) and whipping time (2, 5 and 8 min). The results showed that increasing protein and whipping time decreased density and increased overrun. Elevation of the xanthan gum concentration increased the density and decreased overrun. Optimal conditions for the production of aerated dessert foam with the lowest density and the highest overrun was determined in the concentration of xanthan gum 0.1% (low level), whey protein concentrate 8% (high level) and whipping time 8 min (High level). Power low model was the best model to describe flow behavior of the aerated dessert with high R^2 ($R^2 > 0.99$) and low RMSE (0.01). It was determined that with increasing the whey protein concentrate and xanthan gum decreased the flow behavior index and increased coefficient of consistency ($P < 0.05$). Also, increasing the whey protein concentrate, xanthan gum and whipping time increased hardness, adhesiveness and consistency coefficient. The production of aerated desserts, in addition to producing a new product; increases the power of consumer choice and the profitability of the producer and can be an effective contribution to the growth of the industrial economy.

Keywords: Aerated dessert, Rheological properties, Texture properties, Xanthan gum, Whey protein concentrate

